

Российская академия наук
Институт психологии

ПСИХОФИЗИКА СЕГОДНЯ

*Под редакцией
В.Н.Носуленко, И.Г.Скотниковой*



Издательство
«Институт психологии РАН»
Москва 2007

УДК 159.928
ББК 88

П86

П 86

Психофизика сегодня. — М.: Издательство «Институт психологии РАН», 2007. — 340 с. (Методы психологии)

В коллективном научном труде представлены материалы конференции «Психофизика сегодня», организованной и проведенной Институтом психологии Российской академии наук (9–10 ноября 2006 г.). Цель конференции – консолидация сил отечественных специалистов, работающих в области психофизики и смежных с ней дисциплин, обсуждение современных проблем, методов и перспектив развития психофизической науки. Составители труда надеются, что публикация материалов конференции будет способствовать развитию профессиональной среды и коммуникации специалистов различных областей науки и практики.

Книга предназначена специалистам в области общей, экспериментальной и прикладной психологии, а также физиологам, психологам труда, биофизикам.

Редакционная коллегия:

доктор психологических наук В.Н. Носуленко (отв. ред.)

кандидат психологических наук И.Г. Скотникова (отв. ред.)

доктор психологических наук, академик РАО Е.Н. Соколов

доктор психологических наук, член-корр. РАО В.А. Барабанщиков

кандидат психологических наук Е.В. Головина

© Институт психологии Российской академии наук, 2007

ISBN 5-9270-0096-7

Содержание

ТЕОРИЯ И МЕТОД	5
ГАРУСЕВ А. В. Пороговые методы при исследовании иллюзий.....	5
ГОЛОВИНА Г.М. Мягкие вычисления для моделирования субъективных различий между стимулами.....	10
ГУСЕВ А.Н. К психофизике сенсорных задач: о возможностях системно-деятельностного подхода.....	17
ДАНИЛОВА М.В., МОЛЧОН Д.Д. Психофизический метод для измерения порогов различения/сравнения двух одновременно предъявляемых зрительных стимулов.....	26
ДУБРОВСКИЙ В.Е. Геометрическая психофизика.....	36
КРЫЛОВ А. К. Возможности методики погружения в среду в отличие от методики предъявления стимулов: модельное исследование.....	44
КУРАКОВА О.А. Моделирование пространства эмоциональных выражений лица человека.....	53
МЕНЬШИКОВА Г.Н. Зрительные иллюзии как способ исследования восприятия светлоты поверхности.....	59
МОРОЗОВ В.П. О психофизических коррелятах эстетических свойств галереи певцов разных профессиональных уровней.....	65
НОСУЛЕНКО В.Н. Воспринимаемое качество как инструмент психофизического исследования.....	75
ПАХОМОВ А.П. Идея С. Стивенса и становление репрезентативной теории измерения.....	89
САВЧЕНКО Т.Н. Метод латентно-структурного анализа: возможности применения и ограничения.....	98
СКОТНИКОВА И.Г. Субъектный подход в психофизике и исследование уверенности в решении пороговых задач как одно из его направлений.....	109
ТРОШЕНКОВА Т.О., КОЗЛОВ А.Е., ТЕЛЕПНЕВ В.Н., РИМСКАЯ-КОРСАКОВА Л.К. Программно-аппаратный комплекс для проведения психоакустических измерений.....	120
ШЕНДЯНИН В.М. Сенсорное различение: математическое моделирование.....	123
МЕЖДИСЦИПЛИНАРНАЯ ПСИХОФИЗИКА	136
ГЛАСКО А.В. Психофизический закон Стивенса, амплитуда вызванного потенциала и динамика внимания.....	136
ГРЕЧЕНКО Т.Н. Что и как регулирует поведение живых существ.....	144
ИЗМАЙЛОВ Ч. А., ЗИМАЧЕВ М.М. Два механизма кодирования яркости в зрительной системе позвоночных.....	147
ЛЕБЕДЕВ А.Н. Нейрофизиологические константы в уравнениях психофизики.....	157
ПОЛЯНСКИЙ В.Б., АЛЫМКУЛОВ Д.Э., ЕВТИХИН Д.В., СОКОЛОВ Е.Н. Нейроны верхнего двухслойного мозга зрелого человека вычисляют яркостные и цветовые различия между стимулами.....	165

РАТАНОВА Т.А. О физиологической основе индивидуальной вариабельности психофизических шкал.....	174
СЕЛИВАНОВА Л.А., СКОТНИКОВА И.Г. Использование феномена привыкания для изучения различительной чувствительности рыб.....	183
СЕЛИВАНОВА Л.А., СКОТНИКОВА И.Г. Различительная чувствительность рыб.....	192
ЧУПРИКОВА Н. И. Измерения вызванных потенциалов мозга при шкалировании субъективной громкости звуков.....	206
ЭКСПЕРИМЕНТ И ПРАКТИКА.....	210
БАБЕНКО В.В., БОЖИНСКАЯ М.А. Передаточная функция модуляции пространственной частоты.....	210
БАРАБАНЩИКОВ В.А. Психофизика восприятия растровых изображений.....	217
БЕЛОПОЛЬСКИЙ В.И. Психофизическая оценка читаемости статической и движущейся текстовой информации, предъявленной на внешних рекламных носителях.....	233
БИБИЧКОВ Н.Г., ИЩЕНКО С.М. Пороги обнаружения периодичности сигнала при наличии шумовой модуляции – признаки стохастического резонанса.....	247
ГОЛОВИНА Е.В. Когнитивно-стилевой портрет человека, уверенного в сенсорных впечатлениях.....	254
ЛЕБЕДЕВА Е.В., СУРНИНА О.Е. Исследование дифференциальной чувствительности во времени в разных возрастных группах.....	261
МАТВЕЕВА Л.В., МОЧАЛОВА Ю.В., АНИКЕЕВА Т.Л., КАРАВАНОВА Е.Е. Измерение и идентификация эмоциональных переживаний в информационной коммуникации.....	266
ОБОЗНОВ А. А., ПЕТРОВИЧ Д.Л. Связь когнитивных стилей с эффективностью восприятия приборной информации.....	269
РИМСКАЯ-КОРСАКОВА Л.К. Модельные и психоакустические исследования слухового облегчения распознавания коротких стимулов в шуме.....	277
РОЖКОВА Г. Н., ОГНИВОВ В. В., УФИМЦЕВ М. В. Дифференциальные пороги различения длины в условиях возникновения геометрических иллюзий.....	288
САДОВ В.А., ШПАГОНОВА И.Г. Роль семантики в восприятии длительностей естественных и психофизических сигналов.....	297
СУРНИНА О.Е., ЛЕБЕДЕВА Е.В. Шкалирование длительных интервалов времени людьми пожилого и старческого возраста.....	303
УТОЧКИН И.С., ГУСЕВ А.Н. Формирование функционального органа обнаружения порогового сигнала в условиях пространственной неопределенности.....	309
ХРИСАНФОВА Л.А. Взаимосвязь восприятия эмоциональных линейных схем, предъявляемых в микроинтервале времени на фоне «шума», с некоторыми температурными характеристиками.....	319
Сведения об авторах:.....	334

ТЕОРИЯ И МЕТОД

ГАРУСЕВ А. В.

Пороговые методы при исследовании иллюзий

Аннотация. Показана возможность применения метода подпороговой суммации для исследования иллюзорных цветов в иллюзиях определяемых различными уровнями зрительной системы человека. Разработана процедура получения функции рассеяния цветового канала методом подпороговой суммации при произвольном спектральном составе стимула. Полученные экспериментальные результаты подтверждают возможность применения подпороговой суммации для некоторых видов иллюзий. Для одновременного и последовательного цветового контраста экспериментальные результаты косвенно подтверждают результаты полученные другими авторами непороговыми методами.

В обычной жизни процесс «зрения» происходит настолько легко и непринужденно, что часто не принимаются во внимание чрезвычайно уточненные и до конца не понимаемые механизмы лежащие в основе данного процесса. В последнее время при исследовании этих механизмов наряду с классическими методами стали использовать в качестве, как предмета исследования, так и стимуляции разнообразные зрительные иллюзии. Действительно, очень часто сложная структура зрительной системы раскрывается при помощи иллюзий. Например, при нейрофизиологических исследованиях мультитабильные (куб Неккера, инверсия рельефа и т. п.) стимулы являются неоценимым средством для изучения нейронной основы зрительного осознания, поскольку они позволяют отделить нейронные отклики, которые коррелируют с основными сенсорными свойствами от тех, которые коррелируют с

восприятием (Eaghlman, 2001). При психофизических исследованиях использование таких иллюзорных стимулов также иногда позволяет выявить локализацию вдоль зрительного тракта механизмов отвечающих за обработку некоторых физических (и коррелирующих с ними субъективных) параметров (Adelson, 2000). Обычно при таких исследованиях производится оценка величин параметров (яркость, цвет, белизна поверхностей) и их сравнение при нормальных условиях и при их иллюзорном наблюдении (Меньшикова, 1996). Однако, при исследованиях некоторых новых типов иллюзий (иллюзия Канижи, неоновые цвета) для идентификации механизмов их порождающих стали применять и пороговые методы (Dresp, 1991, 1993, 1995; Rieger, 1999). Цель данных исследований - выявить взаимодействие яркости реального стимула и субъективной яркости иллюзорной фигуры. На данный момент существуют экспериментальные результаты, которые как подтверждают такое взаимодействие (и даже возможность подпороговой суммации (Dresp, 1995), так и опровергают функциональную эквивалентность иллюзорных и реальных стимулов (Rieger, 1999). Такие противоречивые результаты, по нашему мнению, могут объясняться несовпадением формы реального и иллюзорного стимула. Это приводит к тому, что в некоторых случаях происходит не сложение интенсивности этих стимулов, а детекция одного из них на фоне другого. Нами была предложена методика позволяющая исследовать методом подпороговой суммации большой класс иллюзий традиционно относимых к различным уровням зрительной системы (Гарусев, 2004). Необходимость таких исследований определяется тем, что некоторые иллюзии, традиционно относимые к одним уровням обработки в зрительном тракте, как показывают последующие исследования, определяются другими механизмами. Например, было показано (Brenner, 2002), что иллюзия одновременного цветового

контраста определяется внутри цвето-опponentного канала, и не специфически колбочковым механизмом.



а)

б)

в)

Рис 1. Конфигурации стимулов для измерения порогов для иллюзий:

а) последовательного цветового контраста

б) одновременного цветового контраста

в) Канижи

На рисунке 1. представлены стимульные конфигурации для измерения цветовых пороговых значений для центрального квадрата при взаимодействии с иллюзорными цветами последовательного и одновременного цветового контраста и для иллюзии Канижи. Основным достоинством таких конфигураций является то, что, как и в случае с мультистабильными стимулами в нейрофизиологии, реальный тестовый стимул одинаков для всех иллюзий и совпадает по форме и размеру с иллюзорными цветами. Это, во-первых, позволяет получить подпороговую суммацию реального и иллюзорного цвета, а, во-вторых, производить сравнение степени их взаимодействия для различных видов иллюзий. Конечно, провести полномасштабное сравнение характеристик цветовых каналов с учетом формы порогового тела, получаемых методом подпороговой суммации (Logvinenko, 2003) для реальных цветовых стимулов и при иллюзиях чрезвычайно трудно, так как требует и сложной аппаратуры (Гарусев, 2000) и чрезвычайно большого количества

измерений. Но можно показать, что для произвольного набора стимулов $S_i(\lambda)$ с широким спектром (в нашем случае это спектры излучения монитора для красной, зеленой и синей пушек) можно получить функцию рассеяния цветового канала в виде:

$$h_0(\lambda) = \sum \beta_j * h_j(\lambda)$$

где $h_1(\lambda) \dots h_j(\lambda)$ – базис, определяемый спектрами излучения $S_i(\lambda)$, а β_j – коэффициенты, получаемые экспериментально и которые отражают степень взаимодействия цвета $S_0(\lambda)$ и цвета $S_i(\lambda)$. В нашем случае степень взаимодействия реального цветового стимула $S_0(\lambda)$ и иллюзорного цвета определяемого подпороговым значением $S_i(\lambda)$.

Эксперименты проводились с применением обычной процедуры QUEST. Стимулы формировались в среде MATLAB и предъявлялись на мониторе PIYAMA Vision Master Pro 454. Полученные экспериментальные данные были представлены в виде пороговых кривых для трех основных цветов и для различных типов иллюзий. Сравнение степени взаимодействия реальных и иллюзорных цветов для иллюзий последовательного и одновременного цветового контраста показывает, что для одновременного контраста он меньше, чем для последовательного, определяемого нижним уровнем зрительной системы. Это косвенно подтверждает результаты, полученные Бреннером (Brenner, 2002).

Библиография:

Гарусев А. В., Бородкина Н. А., Гуревич И. А. Экспериментальный комплекс для исследования механизмов цветового зрения методами, основанными на измерении инкрементных и декрементных цветовых порогов // Вестник МГУ. Серия 14. Психология, М., 2000. № 4. С. 86-95.

Гарусев А. В. Экспериментальное моделирование цветовых иллюзий различного уровня методом подпороговой суммации // Труды

международной конференции «Искусственные и интеллектуальные системы» (IEEE AIS'04) и «Интеллектуальные САПР» (CAD-2004). М.: Физ. – мат. литература, 2004. Т. 2. С. 207-209.

Меньшикова Г.Я., Луныкова Е.Г. Перцептивное взаимодействие ахроматического цвета поверхности и ее воспринимаемой освещенности. Вестник МГУ. Психология, М., 1996. Вып. 1. С. 22-30.

Adelson E. H. Lightness perception and lightness illusions // The New Cognitive Neurosciences / Ed. M.Gazzaniga, M.S. 2nd Ed.Cambridge, MA: MIT Press. 2000. P. 339-351.

Brenner, E., Cornelissen, F. W. The influence of chromatic and achromatic variability on chromatic induction and perceived color // Perception. 2002. V.31. P. 225-232.

Dresp B., Bonnet C. Psychophysical evidence for low level processing of illusory contours and surfaces in the Kanizsa square // Vision Research. 1991. V. 31. P. 1813-1817.

Dresp B., Bonnet C. Psychophysical measure of illusory form perception: further evidence for local mechanisms // Vision Research. 1993. V.33. P. 759-766.

Dresp B., Bonnet C. Subthreshold summation with illusory contours // Vision Research. 1995. V. 35. P. 1071-1078.

Eagleman D. M. Visual illusions and neurobiology // Nature Reviews Neuroscience. 2001. V.2. P. 920-926.

Logvinenko A. D. Method of quadratic approximation: a new approach to identification of analysers and channels in human vision // Journal of Mathematical Psychology. 2003. V. 47. P. 495-506.

Rieger J., Gegenfurtner K. G. Contrast sensitivity and appearance in briefly presented illusory figures // Spatial Vision. 1999. V. 12. P. 329-344.

Мягкие вычисления для моделирования субъективных различий между стимулами

В работе предлагается метод построения субъективного пространства стимулов, основанный на мягких вычислениях: разрабатывается лингвистическая шкала для оценки различий между стимулами и метод многомерного шкалирования нечетких оценок.

В настоящее время в психофизике развиваются подходы, направленные на изучение индивидуальных особенностей субъекта восприятия: дифференциальный (Гусев, 2004), субъектный (Бардин и др., 1991, 1992, 1993; Скотникова, 2004), экологический (Барабанщиков, Носуленко, 2002).

Наша работа учитывает индивидуальные особенности при оценивании различий между стимулами.

Анализ существующих методов прямых оценок различия показал, что шкалы, с которыми работает испытуемый, не вполне соответствует природе психологического механизма, лежащего в основе оценивания.

Способность оценивать информацию играет существенную роль в характеристике сложных явлений и наиболее ярко проявляется в использовании естественных языков. Каждое слово естественного языка можно рассматривать как сжатое описание нечеткого подмножества полного множества области рассуждений. В этом смысле весь язык, как целое, можно рассматривать как систему, в соответствии с которой нечетким подмножествам множества приписываются элементарные или составные символы (т.е. слова, группы слов и предложения). Так цвет объекта как некоторую переменную, значения этой переменной: красный, синий, желтый, зеленый и т.д. можно интерпретировать как символы нечетких подмножеств полного множества всех объектов. В этом смысле

цвет является нечеткой переменной, т.е. переменной, значениями которой являются символы нечетких множеств. Такие переменные называются лингвистическими.

Для того, чтобы в психологическом эксперименте дать испытуемому возможность естественного способа описания различий, предлагается подход, который представляет собой развитие подхода, предложенного Л.А.Заде. Основное в этом подходе то, что в нем используются лингвистические переменные вместо числовых переменных или в дополнение к ним; отношения между переменными описываются с помощью нечетких высказываний; сложные отношения описываются нечеткими алгоритмами (Заде, 1980).

Конечное подмножество нечеткого множества записывается следующим образом:

$$F = \mu_1 U_1 + \dots + \mu_m U_m$$

Где μ представляют собой степени принадлежности к соответствующим термам и полагаются лежащими в отрезке (0,1), причем 0 и 1 означают соответственно отсутствие различия или максимальное различие.

Объединение методологий теории нечетких множеств и других методов моделирования привело к созданию нового научного направления, известного под названием мягкие вычисления. В психологии такой подход к моделированию только начинает складываться.

По сравнению с традиционными вычислениями мягкие вычисления более приспособлены для работы с неточными, неопределенными или частично истинными данными или знаниями. Исходным моментом в вычислениях со словами, введенными Заде, является набор предложений, выраженных на естественном языке. Этот набор называется множеством исходных данных. Желаемые ответы или заключения также выражаются в

терминах языка.

Этот набор называется множеством конечных (терминальных) данных (Аверкин и др., 1988).

Для оценивания семантических близостей между стимулами разработана лингвистическая шкала "различие". В качестве лингвистических термов предлагались степени различия: например, маленькое, среднее, довольно большое и т.д., для которых моделировались эмпирические функции принадлежности термам.

В соответствии с идеологией мягких вычислений был разработан метод анализа различий между соответствующими понятиями, полученных с помощью нечеткой лингвистической шкалы.

Субъективное сходство стимулов пытались изобразить в виде расстояния между точками- стимулами в пространстве начиная с Ньютона. Так Хеннинг запахи и вкусы на призме и тетраэдре. Первым методом моделирования субъективных различий был метод, линейной связи с расстояниями.

Однако допущение линейности исключает возможность анализа таких данных, которые являются существенно нелинейными монотонными функциями расстояния, например, время различения. Р.Н. Шепард решает проблему анализа таких данных, вводя монотонную функцию. Он же получил двумерное решение для экспериментов по оцениванию звуковых сигналов по коду Морзе. Восприятие этих звуковых сигналов различалось в зависимости от числа точек и тире в каждом сигнале и в зависимости от относительного преобладания в нем точек и тире (Шепард, 1981).

Тенденция снижения точности описания сложных систем отразилась и в методах многомерного шкалирования. Требования метрического многомерного шкалирования (данные эксперимента пропорциональны расстояниям в евклидовом пространстве) заменялось требованием неметрического многомерного шкалирования (данные должны быть

монотонно связаны с расстоянием в евклидовом пространстве или пространстве Минковского).

Если следовать принципу Заде, который он назвал принципом “несовместности” сложности системы и точности ее описания, то, чтобы моделировать оценки, полученные по лингвистической шкале, нужны нежесткие требования к связям этих оценок с координатами оцененных объектов в пространствах.

Поэтому, для моделирования различий предлагается использовать неметрический подход к многомерному шкалированию. Так как исходная матрица субъективных различий между стимулами не является матрицей расстояний в каком-либо пространстве, то исходные различия можно моделировать с помощью функции, которая была бы лишь монотонна исходным различиям и задавала бы расстояния объектов в пространстве. Автором разработан метод нечеткого многомерного шкалирования или метод многомерного шкалирования нечетких оценок (Головина, 1995). Этот метод решает общую задачу шкалирования: найти координаты стимулов для данных, описанных в нечетких психолингвистических шкалах, основываясь на том, что эти данные связаны с расстояниями в пространстве Минковского произвольной монотонной функцией.

В методах многомерного шкалирования вводится критерий несоответствия, который задает степень расхождения между исходными различиями и модельными расстояниями. Для данной постановки задачи таким критерием является функция:

$$S = \frac{2}{N(N-1)} \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N (1 - \mu_{D_{ij}}(d_{ij}))^2$$

Здесь i, j номера объектов,

$i, j = 1 \dots N$, N – количество объектов

D_{ij} – различие между стимулами i и j

d_{ij} – модельное расстояние между стимулами i и j в пространстве

Минковского.

m – количество термов лингвистической переменной

$\mu_{D_{ij}}$ – терм, соответствующий субъективному различию D_{ij}

Аналитически монотонную функцию, связывающую различия и расстояния, найти невозможно, поэтому мы использовали метод градиентной минимизации для нахождения минимума рассогласования между различиями и модельными расстояниями.

Для получения индивидуальных матриц различий и расстояний применялись две процедуры: попарное сравнение объектов и метод семантического дифференциала.

В первой процедуре использовалась лингвистическая шкала “различие”. В качестве лингвистических термов мы выбрали следующие пять степеней различия: совсем нет, маленькое, среднее, довольно большое, очень большое. Результат оценивания попарных различий – матрица различий ($N \times N$).

Во второй процедуре оценивалась степень выраженности каждого объекта по каждой шкале k , где $k = 1 \dots K$. Результат оценивания – матрица смещений ($N \times K$).

Для моделирования функций принадлежности был предложен следующий алгоритм.

С помощью соответствующей метрики вычисляются матрицы расстояний между объектами ($K \times K$). Затем, для каждого терма матрицы различий между объектами i и j определяется расстояние между объектами i и j в матрице расстояний. Таким образом, каждому терму, например

терму «очень большое различие», соответствует некоторое множество расстояний в матрице расстояний. Наконец, для каждого множества с помощью регрессионного анализа строятся функции принадлежности соответствующему терму, которые затем используются при вычислении стресса S в методе многомерного шкалирования для реконструкции пространств объектов-стимулов.

Предложенный метод использовался нами для построения семантической структуры знаний психологических дисциплин (Головина, 2005).

Оказалось, что субъективные пространства респондентов, имеющих лучшее согласование между матрицами различий и расстояний между психологическими понятиями более структурированы.

Были выявлены субъективные различия в предпочтении методик оценивания. Многие испытуемые отмечали рефлексию знаний в процессе оценивания.

Пытаясь вскрыть психологические механизмы приведенных фактов, мы предположили, что на предпочтение методик и структурированность ментальных репрезентаций влияет когнитивный стиль «диапазон субъективной эквивалентности». Пилотажное исследование автора подтвердило это предположение для описания структуры знаний: более структурированными оказались семантические пространства лиц с широким диапазоном эквивалентности.

В психофизических исследованиях А. Обозновым и Д. Петрович показана взаимосвязь эффективности восприятия приборной информации с диапазоном субъективной эквивалентности и поле(не)зависимостью; Е.В. Головиной показано влияние различных когнитивных стилей (в т.ч. и диапазона субъективной эквивалентности) на адекватность восприятия сенсорной информации и информации по общей осведомленности (Головина, 2006). Исследования В.А. Садова и Н.Г. Шлаговой

подтверждают взаимосвязь восприятия длительности звуковых фрагментов и их семантических структур. Поэтому в дальнейших работах, связанных с разработкой субъективных шкал необходимо учитывать различия в когнитивных стилях, в особенности, как нам кажется, в диапазоне субъективной эквивалентности.

Возможно, использование мягких вычислений в психофизике позволит вскрыть новые доводительные механизмы индивидуальных особенностей восприятия.

Библиография:

Аверкин А.Н., Батыршин И.З., Блишун А.Ф., Силов В.Б., Тарасов В.Б. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / Под ред. Д.А. Поспелова. М.: Наука, 1986.

Барабанщиков В.А., Носуленко В.Н. Системность. Восприятие. Общение. М.: ИП РАН, 2004.

Бардин К.В., Скотникова И.Г., Фришман Е.З. Субъективный подход в психофизике // Проблемы дифференциальной психофизики / под ред. К. В. Бардина. М.: ИП РАН, 1991.

Головина Г.М. Метод многомерного шкалирования нечетких оценок // Математические методы в современной психологии: статус, разработка, применение. М.: ИП РАН, 1995.

Головина Г.М. Субъективные оценочные шкалы и ментальные репрезентации // Методы исследования психологических структур и их динамики, выпуск 3, М.: ИП РАН, 2005

Головина Е.В. Структура уверенности и когнитивные стили. Диссертация канд. психол. наук. М.: ИП РАН, 2006.

Гусев А.Н. Психофизика сенсорных задач. М.: МГУ, 2004.

Заде Л.А. Размытые множества и их применение в распознавании образов и кластер-анализе // Классификация и кластер. М.: Мир, 1980.

Скотникова И.Г. Субъектная психофизика: результаты исследований // Психологический журнал. 2004, Т.24. №2. С. 121-131.

Шепард Р.Н. Многомерное шкалирование и неметрические представления // Нормативные и дескриптивные модели принятия решений: М.: Наука, 1981.

ГУСЕВ А.Н.

К психофизике сенсорных задач: о возможностях системно-деятельностного подхода

Аннотация. На основе теоретического и экспериментального изучения психологических механизмов процесса обнаружения пороговых и около пороговых сигналов в докладе обосновывается продуктивность применения системно-деятельностного подхода (Леонтьев, 1975; Асмолов, 1983, 2001) к анализу решения наблюдателем сенсорных задач.

Системно-деятельностный подход, включающий субъективный подход в психофизике, позволяет теоретически и экспериментально обосновать тенденцию развития психофизики от психофизики «чистых» ощущений – к психофизике «сенсорных задач» и раскрыть процесс обнаружения/различения порогового сигнала как процесс решения субъектом сенсорной задачи, имеющий системную многоуровневую детерминацию. В соответствии с положениями общепсихологической теории деятельности (Леонтьев, 1975) варьирование условий выполнения сенсорной задачи и индивидуально-психологических различий испытуемых будут определять изменения в операциональной структуре задачи и закономерно отражаться в динамике реализующих ее психофизиологических механизмов. Это предполагает выход за рамки традиционной для психофизики схемы: от контроля физических

характеристик стимуляции к анализу поведенческих мер эффективности обнаружения сигнала. Более широкий и общепсихологический взгляд на проблему приводит к необходимости рассмотреть внешние и внутренние детерминанты сенсорного процесса, и, таким образом, выйти за рамки известного постулата непосредственности (Узнадзе, 1977). Приведенные выше положения обосновываются следующими доказательствами:

1. В структуре целенаправленной деятельности человека процесс решения сенсорной задачи может выступить на уровне сознательного действия по обнаружения слабого или различению слабо различающихся сигналов. Операциональная структура процесса обнаружения/различения включает формирование у испытуемого специальных средств для решения сенсорной задачи, своего рода «психологических орудий» (Л.С. Выготский, А.В. Запорожец) - сенсорных эталонов предъявляемых стимулов.

2. Условия выполнения сенсорной задачи определяют ее специфические особенности по сравнению с другими познавательными задачами человека: дефицит поступающей сенсорной информации; случайный характер предъявления стимулов; значительная информационная нагрузка на испытуемого. Эти условия вызывают у испытуемого высокую информационную неопределенность, необходимость повышенной концентрации внимания и сосредоточенности на стимульном потоке, а также привлечения произвольных усилий, направленных на поддержание устойчивости внимания во времени.

3. Эффективность выполнения сенсорных задач по обнаружению сигнала обусловлена совокупным влиянием ситуационных факторов (условия выполнения задачи) и индивидуально-личностных особенностей испытуемых. В цикле экспериментальных исследований (Гусев, 1989, 2004; Гусев, Шапкин, 1991; Шапкин, Гусев, 2000; Gusev, Schapkin, 2001; Гусев, Уточкин, 2006 и др.) показано влияние следующих ситуационных и

индивидуально-личностных факторов на изменение уровня активации испытуемых: время суток, длительность опыта, сложность обнаружения сигнала, многосуточная депривация сна, экстраверсия-интроверсия. При уменьшении уровня активации наблюдается падение эффективности обнаружения сигнала, выражающееся в увеличении ВР и/или снижении сенсорной чувствительности, увеличении вариабельности этих показателей.

Установлено влияние мотивации достижения, нейротизма и личностной тревожности, характеризующих степень усилия, прикладываемого испытуемым при решении сенсорной задачи, на сенсорные и моторные показатели обнаружения сигнала. Высокая мотивация достижения, эмоциональная стабильность и низкая тревожность способствуют повышению эффективности и стабильности выполнения сенсорной задачи.

Существенное значение имеет характер взаимодействия указанных выше факторов: 1) экстраверты выполняли задачу обнаружения зрительного сигнала успешнее вечером, а интроверты – утром; 2) в условиях значительного снижения активированности (многосуточная депривация сна) более высокий уровень произвольного усилия повлиял на выполнение более сложных (пороговых) задач, и не оказал влияния при выполнении менее сложных (надпороговых) задач; 3) более успешными по эффективности обнаружения пороговых сигналов были испытуемые, у которых сочетались высокие уровни активации и усилия: мотивированные на достижение и/или эмоционально-стабильные интроверты; менее успешными были: мотивированные на избегание неудачи и/или нейротичные или тревожные экстраверты.

Таким образом, влияние активации и усилия на эффективность обнаружения сигнала опосредствуется различной степенью привлечения

когнитивных ресурсов, что делает весьма продуктивным применение ресурсного подхода (Канеман, 2006).

4. При анализе эффективности решения сенсорных задач наряду с традиционными интегральными индексами сенсорного исполнения, описывающими деятельность субъекта по опыту в целом, исследованы процессуальные характеристики решения задачи, описывающие особенности динамики исполнения задачи и индивидуальные стратегии наблюдателей. Так, в динамике индексов исполнения сенсорной задачи находят свое отражение характерные изменения активации субъекта и усилия, прикладываемого к ее выполнению. Например, в ходе опыта по обнаружению слухового порогового сигнала по критериям «эффективность» и «стабильность» были выделены шесть типов совместной динамики психофизических показателей, закономерно связанных с выраженности у испытуемых уровня активации и степени усилия: *эффективно-стабильному* типу динамики соответствовала группа испытуемых, на 90% состоявших из более активированных (интровертов), из которых 40% были мотивированными на достижение и эмоционально стабильными индивидами; напротив, *неэффективно-декрементному* соответствовала группа, на 67% состоящая из наиболее энергетически «слабых» индивидов – нейротичных экстравертов, мотивированных на избегание неудачи.

5. Изменение показателей эффективности решения сенсорной задачи находит закономерное отражение в динамике показателей активации вегетативной (вариабельность кардиоинтервалов) и центральной нервной систем (компоненты вызванных потенциалов и спектральные параметры ритмов ЭЭГ). Например: 1) в условиях обычного психофизического эксперимента у большей части испытуемых увеличение ЧСС и уменьшение дисперсии кардиоинтервалов было достоверно связано с повышением сенсорной чувствительности и снижением ВР; 2) в условиях

депривации сна при падении эффективности обнаружения сигнала установлено закономерное снижение амплитуды и увеличение латентности компонентов N2 и P3 слухового вызванного потенциала, что, на наш взгляд, отражает редукцию эффективности механизма сравнения текущего сигнала с сенсорным эталоном памяти и процесса оценки принятого решения, соответственно; 3) в условиях депривации сна синхронный анализ динамики психофизических показателей обнаружения сигнала и изменения показателей ЭЭГ-активации позволил обнаружить закономерную ковариацию сенсорных способностей и электрофизиологических показателей.

Основное направление представленных нами исследований – функциональное развитие психического отражения при выполнении субъектом сенсорных задач по обнаружению сигнала. Изучая любое развитие, необходимо выделить системообразующий фактор, который определяет направление и характер изменения изучаемого процесса. Подчеркнем, что специфика самой задачи и является тем основным моментом, который определяет характер изменения ее составляющих. В структуре психической деятельности человека задача характеризуется своей специфической целью. В ходе достижения этой цели формируется определенный *функциональный орган* (по А.А. Ухтомскому) или *воспринимающая функциональная система* (по А.Н. Леонтьеву), соответствующие конкретным условиям выполнения задачи и индивидуальным особенностям действующего субъекта. Нам представляется целесообразным рассматривать такое системное образование как функциональный орган в качестве основной единицы для функционального анализа решения сенсорной задачи, поскольку оно адекватно решаемой субъектом задаче в целом. Вслед за работами А.А. Ухтомского, Н.А. Бернштейна и А.Н. Леонтьева наши результаты показывают, что сенсорная задача *порождает* временную структуру,

объединяющую разнообразные ресурсы человека. Создание такой структуры, соответствующей специфике выполняемой задачи, характеру ее протекания и индивидуальным особенностям субъекта, обеспечивает необходимую продуктивность и адаптивность. Фактически, можно говорить, что при решении сенсорной задачи возникает специфический функциональный орган как средство для ее решения. Слово «орган» не является в данном контексте натяжкой, поскольку оно не означает обязательно какое-либо структурно и морфологически неизменное образование. Напротив, А.А. Ухтомский справедливо замечает: «Органом может быть всякое временное сочетание сил, способное осуществить определенное достижение» (Ухтомский, 1978, с. 95). Комбинация условий выполнения задачи (ситуационных факторов) и индивидуально-психологических особенностей решающего ее субъекта определяют уровень мотивационного (уровень активации и усилия) и ресурсного обеспечения сенсорной задачи и, тем самым, задают специфику постоянно меняющегося функционального органа. Как показывают полученные результаты, именно соотношение уровней активации и усилия определяет степень привлечения когнитивных ресурсов, обеспечивающих выполнение задачи обнаружения сигнала. Поэтому мы можем говорить, по крайней мере, о 2-х важных составляющих функционального органа сенсорной задачи – активации и усилия. Взаимодействие ситуационных и индивидуально-психологических факторов в процессе выполнения сенсорной задачи создает особую доминанту как временный орган, чья функция заключается в динамической и избирательной концентрации ресурсов субъекта.

Проследив динамику исполнения сенсорной задачи у разных групп испытуемых (интериндивидуальный анализ) или у одного испытуемого в рамках одного опыта (интраиндивидуальный анализ), мы можем констатировать, что в наших опытах наблюдался процесс формирования и

изменения функционального органа адекватного условиям задачи и индивидуальным особенностям выполняющего ее субъекта. Процесс обнаружения сигнала, который он реализует, внешне представляется весьма элементарным и детерминированным лишь особенностями стимуляции и состоянием органов чувств. Однако, эта «элементарность» или «натуральность» оказывается внешне обманчивой в силу того, что, сформировавшись из различных процессов в единую систему, он «... далее функционирует как единый орган» (Леонтьев, 1983, с. 93). И только специальные экспериментальные манипуляции и способы обработки данных позволили нам убедиться в сложном и многоуровневом характере детерминаций, составляющих его процессов. Так, обнаружение порогового звукового сигнала в условиях пространственной неопределенности (при его рандомизированном предъявлении в левое или правое ухо) обнаружило сложную перестройку межполушарной асимметрии и стратегий вероятностного прогнозирования в соответствии с характером и уровнем неопределенности и индивидуально-психологическими особенностями испытуемых (см. публикацию И.С. Уточкина и А.Н. Гусева в настоящем сборнике).

Анализ результатов экспериментов с многосуточной депривации сна наглядно показал вторую особенность функциональных органов, выделенную А.Н. Леонтьевым – их устойчивость. Сформировавшись для решения конкретной сенсорной задачи, они проявляют определенную стабильность при изменении условий ее решения. Так, мы наблюдали феномен относительной стабильности сенсорной чувствительности при значительном снижении функционального состояния испытуемых (Гусев, 1989). Оценивая этот феномен, можно, например, говорить о высокой устойчивости процессов формирования сенсорного образа и его сравнения с сенсорным эталоном памяти. Кроме того, одна из важных составляющих функционального органа – мотивационная направленность испытуемых,

задавала у разных групп испытуемых явно выраженную специфику сенсорного исполнения легких (надпороговых) и сложных (пороговых) задач на протяжении сложных многосуточных опытов, тем самым, давая экспериментатору возможность точного прогнозирования результатов их деятельности.

И, наконец, отметим вслед за А.Н. Леонтьевым еще одну особенность функциональных органов – «... отвечая одной и той же задаче, они могут иметь разное строение, чем объясняется почти безграничная возможность компенсаций, которая наблюдается в сфере развития специфически человеческих функций» (Леонтьев, 1983, с. 94). Исследуя тонкую динамику исполнения задачи обнаружения пороговых сигналов в ходе одного длительного опыта были обнаружены различного рода нестационарности в уровне эффективности сенсорного исполнения. Они зависели от текущего уровня активации, а их характер определялся индивидуально-психологическими особенностями наблюдателей. Исследование особенностей эффекта взаимодействия факторов, влияющих на уровень активации и усилия, показало, что имеются как выраженные преимущества в качестве сенсорного исполнения при определенных сочетаниях индивидуально-психологических особенностей испытуемых, так и практическая идентичность в исполнении сенсорной задачи у разных личностных типов.

Таким образом, рассматривая полученные результаты в контексте идей А.А. Ухтомского и А.Н. Леонтьева, подчеркнем, что при решении сенсорной задачи изменения функционального органа происходят в форме изменений уровня или качества овладения человеком орудиями (средствами) и операциями, которые мы интерпретируем как включение определенных когнитивных ресурсов в структуру выполняемой сенсорной задачи.

Библиография:

Гусев А.Н. Обнаружение звуковых сигналов человеком-оператором в особых условиях: Автореф. дис. ... канд. психол. наук. М.: МГУ, 1989.

Гусев А.Н. Психофизика сенсорных задач. Экспериментальное исследование поведения человека в ситуации неопределенности. М., 2004.

Гусев А.Н., Уточкин И.С. Роль активации в решении сенсорных задач различной сложности: ресурсный и функциональный подходы // Вестник МГУ. (Серия «Психология»), М., 2006, № 3 (в печати).

Гусев А.Н., Шапкин С.А. О некоторых особенностях динамики обнаружения сигнала // Проблемы дифференциальной психофизики М.: ИП АН СССР, 1991. С. 217—242.

Канеман Д. Внимание и усилие. М., 2006.

Леонтьев А.Н. Деятельность. Сознание. Личность. М., 1975.

Леонтьев А.Н. Избранные психологические произведения. В 2 т. // Том 2. М., 1983.

Узнадзе Д.Н. Теория установки. М., Воронеж, 1997.

Ухтомский А.А. Избранные труды. М., 1978.

Шапкин С.А., Гусев А.Н. Влияние личностных особенностей и времени суток на выполнение простой сенсомоторной задачи // Психологический журнал. 2001. Т. 13, № 2. С. 50—56.

Schapkin S.A., Gusev A.N. Operator functional state and vigilance: mediating effect of brain hemispheres // Operator Functional State: The Assessment and Prediction of Human Performance Degradation in Complex Tasks / Eds. G.R.J. Hockey, A.W.K. Gaillard, O. Burov. Amsterdam: IOS Press, 2003. P. 140-151.

ДАНИЛОВА М.В., МОЛЛОН Д.Д.

Психофизический метод для измерения порогов различения/сравнения двух одновременно предъявляемых зрительных стимулов

Исследование было поддержано грантом Wellcome Trust 072684/Z/03/Z

Аннотация. Одним из наиболее распространенных психофизических методов измерения дифференциальных порогов различения является методика двухальтернативного вынужденного выбора. В предлагаемой статье рассматриваются случаи, в которых методика двухальтернативного выбора дает одинаковую оценку порогов различения двух одновременно предъявляемых стимулов по сравнению с методикой абсолютной оценки, где определение порога основано на предъявлении только одного стимула. Применение методики в таком случае может привести к ошибочным выводам о зависимости порогов различения от, например, расстояния между двумя одновременными стимулами. Предлагается модифицированная методика двухальтернативного выбора, где наблюдатель ставится в условия, при которых выполнение задачи невозможно без активного сравнения двух одновременных стимулов. Для этого в одном и том же эксперименте используется набор референтных стимулов, одновременно измеряются инкрементные и декрементные пороги. Обоснованность методики проверяли в экспериментах, где пороги различения цвета измеряли с помощью абсолютной оценки и модифицированной методики двухальтернативного вынужденного выбора. Показано, что в последнем случае выполнение задачи невозможно, если наблюдатель оценивает только один стимул, и игнорирует второй.

При проведении психофизических экспериментов, целью которых является измерение порогов различения, экспериментатор ставит перед

наблюдателем задачу сравнения двух стимулов. Наиболее часто в таких экспериментах используется методика пространственного или временного двух-альтернативного выбора. Если используется временной вариант методики, то два стимула, которые необходимо сравнить, предъявляются последовательно. Задача наблюдателя в этом случае – сказать, в каком временном интервале предъявлялся стимул, например, большего размера (или имеющий больший угол наклона, или более красный, или более синий и т.д.). В пространственном варианте этой методики два стимула предъявляются одновременно, а задача наблюдателя – указать, в каком месте зрительного поля предъявлялся стимул, например, большего размера, более красный и т.д. В таких экспериментах экспериментатор *a priori* предполагает, что в случае применения методики двух-альтернативного вынужденного выбора наблюдатель активно сравнивает два предъявленных стимула. Говоря «активно сравнивает» мы подразумеваем, что наблюдатель основывает свое суждение, только учитывая оба стимула. Однако можно задать вопрос: действительно ли два стимула необходимы для выполнения сравнения? Положительный ответ на этот вопрос нельзя считать очевидным.

При использовании временного варианта методики вынужденного выбора было показано, что наблюдатели могут с высокой точностью производить сравнение параметров двух стимулов, предъявляемых либо одновременно, либо последовательно с различными временными интервалами, которые варьировали от нескольких секунд до минут, и даже часов (Magnussen, Dynges, 1994). В работе было показано, что пороги различения пространственной частоты не изменяются существенно с увеличением межстимульного интервала. Для объяснения результатов таких экспериментов было выдвинуто предположение о том, что наблюдатели не производят активное сравнение двух предъявляемых стимулов, а вместо этого выполняют сравнение одного из двух стимулов с

внутренним стандартом (Lages, Treisman, 1998). По предположению Lages & Treisman (1998) наблюдатели способны вырабатывать и хранить в памяти «детализированный алгоритм для модификации критерия, который будет использован для принятия решения во время последующих предъявлений». Можно рассмотреть один из вариантов такого предположения: наблюдатель в процессе эксперимента на протяжении многих предъявлений создает внутренний шаблон, или образец, который представляет собой нейронное представление среднего значения изменяемого параметра всех стимулов, предъявляемых в ходе эксперимента. Именно с этим внутренним шаблоном происходит сравнение одного из двух стимулов, а не с внешним вторым реальным стимулом. Парадоксально, но такая стратегия может оказаться более эффективной с точки зрения теории обнаружения сигнала, поскольку, учитывая только один из двух стимулов, решение наблюдателя зависит только от одного источника внешнего шума, а не от двух источников, как в случае использования обоих стимулов для сравнения.

Выдвинутое предположение было проверено в экспериментах при использовании метода постоянных раздражителей (Lages, Treisman, 1998). Авторы сравнивали две серии экспериментов, в которых определяли пороги различения пространственной частоты.

В одной серии в начале эксперимента предъявляли один референтный стимул, после которого предъявляли набор стимулов для сравнения в случайном порядке (в наборе присутствовали как стимулы, сравниваемый параметр которых был больше или меньше референтного стимула). Область изменения стимулов для сравнения либо выбиралась симметрично относительно референтного стимула, либо была смещена в сторону увеличения или уменьшения тестовой частоты по сравнению с референтом. В случае выбора симметричного интервала стимулов психометрическая функция также располагалась симметрично

относительно интервала изменения стимулов для сравнения. Этот факт означает, что уровень случайного гадания соответствует значению референтного стимула: наблюдатель делает одинаковое количество ошибок, называя тот стимул для сравнения, который физически идентичен референтному, одинаковое количество раз как имеющий более высокую или более низкую пространственную частоту. Если середина области стимулов для сравнения была смещена в сторону более высоких пространственных частот, то и 50% уровень правильных ответов был смещен в область более высоких частот, и наоборот.

Во второй серии экспериментов процедура была аналогична первой серии, но в начале эксперимента референтный стимул не предъявляли, а предъявляли только набор стимулов для сравнения. Наблюдалась тенденция, аналогичная полученной в первой серии: психометрические функции были смещены в ту сторону, в которую был сдвинут диапазон изменения стимулов для сравнения, а величина порогов была сравнима в обеих сериях. Таким образом, авторы показали, что для выполнения достаточно точных задач (пороги различения пространственной частоты были низкие в обоих случаях) не требуется внешний референтный стимул.

В другой работе наблюдателей просили оценивать набор стимулов для сравнения с референтным стимулом в задаче измерения порогов различения пространственных интервалов (Morgan, M.J., Watamaniuk, S.N.J., & McKee, S.P., 2000). Референтные стимулы были предварительно выучены и запоминались в символическом виде: использовали девять разных референтных стимулов, и им были присвоены номера от 1 до 9. Набор стимулов для сравнения был выбран отдельно для каждого референтного стимула. В каждом предъявлении наблюдателей просили оценить, какому набору принадлежит данный стимул для сравнения и определить, шире или уже данный стимул по сравнению с запомненным стандартом. Авторы показали, что наблюдатели могут хранить в памяти несколько критериев

одновременно и эффективно использовать их без существенного ухудшения качества выполнения задачи: пороги различения при использовании реального физического референтного стимула были ненамного лучше, чем пороги различения при сравнении с референтом, хранящемся в памяти. Результат этих экспериментов подтверждает, что наблюдатели могут хранить в памяти значительное количество шаблонов, или референтов, и производить сравнение предъявленного физического стимула со стандартом, хранящимся в памяти, с высокой точностью.

Рассмотрим теперь психофизический эксперимент, в котором задача наблюдателя – сравнить один из параметров (пространственную частоту, или цвет) двух одновременно предъявляемых стимулов. Экспериментатор исследует зависимость порогов различения от расстояния между двумя стимулами в условиях, когда движения глаз не разрешены (например, короткая длительность предъявления) и использует процедуру пространственного двух-альтернативного вынужденного выбора. Для того, чтобы можно было делать какие-либо выводы о зависимости порогов различения от расстояния между стимулами, необходимо быть уверенным в том, что при всех расстояниях между стимулами наблюдатель использует одну и ту же стратегию для выполнения психофизической задачи. Если два стимула соприкасаются или расположены на малых расстояниях друг от друга, то наблюдатель может использовать стратегию активного сравнения двух физических стимулов. Если одновременно предъявляемые стимулы находятся на расстоянии несколько угловых градусов, то наблюдатель может обнаружить, что легче выполнять задачу, если смотреть только на один стимул, и оценивать его по отношению к внутреннему эталону, а второй стимул игнорировать. В этом случае методика двух-альтернативного пространственного вынужденного выбора вырождается в методику одиночного стимула или абсолютную оценку, что эквивалентно сравнению внешнего стимула с внутренним стандартом.

В наших экспериментах мы исследовали, зависит ли различение параметров стимулов от расстояния между ними и принимая во внимание все изложенные выше аргументы, мы разработали методику измерений, которая заставляет наблюдателя активно сравнивать для стимула, и не производить абсолютную оценку.

Во-первых, хотя мы знаем, что наблюдатели могут хранить в памяти до 9 значений референтных стимулов, маловероятно, что можно хранить в памяти 25 мало отличающихся друг от друга стимулов (Morgan, Watamaniuk & McKee, 2000). Мы проверили нашу методику при исследовании зависимости порогов различения пространственной частоты от расстояния между стимулами (элементы Габора). Пространственная частота 2 цикл/град была выбрана как середина диапазона, а 25 референтных стимулов были симметрично расположены с шагом 2%. Вместо процедуры постоянных раздражителей использовали процедуру «лестница». В эксперименте не использовали 25 отдельных «лестниц». Вместо этого в каждом предъявлении выбирался один из 25 референтных стимулов, а к нему выбирали стимул для сравнения путем умножения значения пространственной частоты референтного стимула на коэффициент. Значение этого коэффициента и изменяли в ходе процедуры «лестница». Поскольку расстояние между референтными стимулами маленькое, меньше порога различения пространственной частоты в этом диапазоне (Campbell, Nachmias & Jukes, 1970), то референтная частота в одном предъявлении может оказаться стимулом для сравнения в другом предъявлении.

Во-вторых, положение референтного стимула и стимула для сравнения выбирали случайным образом. Это приводило к тому, что в одном предъявлении наблюдатель оценивал референтный стимул по отношению к сравниваемому, а в другом предъявлении – наоборот. Однако

наблюдатель не знал, какой из стимулов референтный, а какой – сравниваемый.

В-третьих, в случае различения пространственной частоты (а также ориентации и контраста, но не цвета, что было обусловлено техническими возможностями аппаратуры), мы использовали две случайным образом перемешанные «лестницы», с помощью которых измеряли отдельно инкрементные и декрементные пороги.

Обоснованность нашей процедуры мы проверяли экспериментально при исследовании порогов различения цвета, пространственной частоты, ориентации и контраста. Для сравнения мы добавили два варианта «абсолютной оценки». В обоих вариантах серия, в которой предъявляли только один стимул, добавлялась в случайном порядке к сериям, где предъявляли два стимула. Единственное ограничение на порядок серий – серия с одним стимулом не могла быть первой серией в данном эксперименте. Мы приводим данные, полученные при различении цвета: модифицировался сигнал, поступающий в коротко волновые колбочки (S-колбочки), а измеряли цветовой контраст (S-контраст). Аналогичные данные были получены и для других исследованных параметров.

В первом варианте «абсолютной оценки» в каждом предъявлении наблюдателя просили оценить более красный или более синий данный стимул по отношению к цвету всех предъявленных до этого цветов. Мы использовали 35 разных цветов, область которых несколько перекрывала с обоих концов диапазон 25 референтных стимулов, которые использовали в других сериях. На основании этих оценок строили психометрические функции, которые аппроксимировали сигмовидной кривой. Порог различения вычисляли как разницу между изменяемым параметром стимула (в данном случае, величина S-сигнала), соответствующую 79.4% и 50% ответов одной категории – более синий. Типичная психометрическая функция приведена на левой стороне рисунка 1. На правой стороне

приведена зависимость S-контраста от расстояния между стимулами; правая точка на графике соответствует порогу, полученному в случае «абсолютной оценки». Для приведенного наблюдателя ИК абсолютная оценка оказалась даже более точная, чем сравнение двух стимулов (изолированная правая точка).

Во втором варианте «абсолютной оценки» наблюдателей просили сравнивать появляющийся стимул, *как будто второй стимул также присутствует*. На рисунке 2 (левая сторона) приведены данные для двух ситуаций: предъявлены два стимула на расстоянии 5.6 угловых градуса и предъявлен один стимул. Во втором случае «абсолютной оценки» пороги различения существенно выше, чем в случае активного сравнения.

Кроме того, что пороги в случае «абсолютной оценки» были значительно выше, также значение порога зависело от значения варьируемого параметра стимула для сравнения, с которого начиналась процедура «лестница». На правой стороне рисунка 2 показана зависимость порога различения от начального увеличения S-сигнала (коэффициент, на который умножали значение референта для определения значения теста). В случае активного сравнения пороги кривая идет параллельно оси абсцисс, что свидетельствует о том, что наблюдатели могут достичь того же самого порога независимо от начальной разницы между референтом и стимулом для сравнения; им просто необходимо больше предъявлений, чтобы достичь плато перегибов, что является целью процедуры «лестница». В случае «абсолютной оценки» ситуация отличная: чем выше начальная разница между референтным и сравниваемым стимулом, тем выше порог различения. Мы также проанализировали индивидуальные «лестницы» и обнаружили, что они не выходят на плато, а значения перегибов увеличиваются, т.е. значение параметра сравниваемого стимула удаляется от референтного.

Выводы

Использование классических психофизических методик не всегда дает истинные результаты в случае двух-альтернативного вынужденного выбора.

Для того, чтобы наблюдатель был вынужден выполнять активное сравнение, в процессе которого наблюдатель использует оба одновременно предъявляемых стимула, мы предлагаем использовать несколько референтных стимулов в одном эксперименте, смешивать измерение инкрементных и декрементных порогов в одном эксперименте.

Обоснованность предложенной методики проверяли в психофизических экспериментах, где сравнивали пороги, измеренные в двух вариантах «абсолютной оценки» и активного сравнения двух стимулов при исследовании порогов различения цвета.

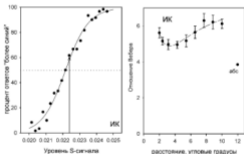


Рисунок 1. Слева: психометрическая функция, полученная при применении первого варианта «абсолютной оценки». Справа: зависимость порога различения цвета от расстояния между сравниваемыми стимулами и в случае первого варианта «абсолютной оценки».

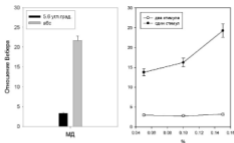


Рисунок 2. Слева: Пороги различения цвета, полученные в двух условиях – сравнение двух одновременных стимулов, находящихся на расстоянии 5.6 угловых градусов

Справа: Зависимость порогов различения от начальной разницы (в процентах от значения референтного стимула) в случае сравнения двух стимулов (незаполненные кружки) и «абсолютной оценки» второго типа (заполненные кружки).

Библиография:

Campbell, F.W., Nachmias, J., & Jukes, J. Spatial-frequency discrimination in human vision // *Journal of the Optical Society of America*, 1970. № 60 (4), P. 55-559.

Lages, M., & Treisman, M. Spatial frequency discrimination: visual long-term memory or criterion setting? // *Vision Research*, 1998. № 38 (4). P. 557-572.

Magnussen, S., & Dymnes, S. High-fidelity perceptual long-term memory // *Psychological Science*, 1994. № 5. P. 99-102.

Morgan, M.J., Watamaniuk, S.N.J., & McKee, S.P. The use of an implicit standard for measuring discrimination thresholds // Vision Research, 2000. № 40. P. 2341-2349.

ДУБРОВСКИЙ В.Е.

Геометрическая психофизика

Аннотация. Рассмотрены концептуальные основы использования геометрических методов в психофизике. Предложена формальная схема перехода к Гамильтонову описанию для задач сенсорного различения.

Попытки применить геометрическую терминологию для интерпретации результатов психофизических экспериментов повторяются уже больше ста лет с завидной регулярностью. Особенно плодотворным этот подход оказался при исследовании восприятия цвета. Здесь трудами множества известных ученых (включая одного из основоположников квантовой механики – Эрвина Шредингера) удалось построить достаточно строгую аксиоматическую теорию. Вероятно, притягательность геометрического подхода объясняется возможностью как бы “вынести за скобки” те специфические наборы тестовых стимулов, которые используются в конкретных исследованиях, играя роль “базиса”. Геометрическая интерпретация, которая не должна зависеть от выбора базиса, позволяет выявить некоторые инвариантные структуры, которые характеризуют саму зрительную систему и не зависят от методики эксперимента.

Здесь возникает интересный вопрос: геометрия *какого* пространства изучается? Существует два допустимых ответа. Можно предположить существование так называемого *сенсорного пространства*, в котором

каждому предъявляемому стимулу (или группе стимулов) соответствует точка. Часто сторонники такого подхода автоматически считают сенсорное пространство линейным векторным пространством, не задаваясь даже вопросом, насколько оправдано это предположение. На самом деле, для элементов линейного векторного пространства должны быть определены операции сложения и умножения на число, удовлетворяющие определенным аксиомам. Корректное определение этих операций в сенсорном пространстве представляет нетривиальную задачу (хотя, например, для цветового пространства эта задача решена). Обычно пытаются оценить размерность сенсорного пространства, наделить его более или менее произвольно той или иной нормой, метрикой, и т.п. Например, существует целое научное направление, рассматривающее цветовое пространство как наделенное геометрией Римана. Вводятся различные линейные элементы, определяется кривизна, вычисляются расстояния между элементами по геодезическим линиям. Серьезным недостатком такого подхода является произвольность выбора применяемого математического аппарата, который в ряде случаев заранее определяет, что получится в результате.

Другой подход заключается в том, что работу испытуемого можно интерпретировать, как наделение *пространства стимулов* некоторой геометрической структурой. Это пространство действительно в большинстве случаев допустимо считать линейным векторным пространством, так как простые стимулы с формальной точки зрения описываются некоторыми функциями (зависимость интенсивности от длины волны, координат на плоскости, времени и т.п.). Для этих функций определены операции сложения и умножения на число, так что их вполне корректно можно рассматривать как элементы линейного векторного пространства. В рамках этого подхода пытаются представить результаты психофизических экспериментов как задание в таком пространстве

некоторой метрической структуры, обусловленной различной степенью субъективной близости предъявленных стимулов.

Существуют две основных математических парадигмы, позволяющих корректно описать основную психофизическую задачу зрительного различения в геометрических терминах: *дифференциальная геометрия* (Рунд, 1981) и *выпуклый анализ* (Иоффе, Тихомиров 1968; Экланд, Темам 1979). Первая шире распространена (вероятно, в силу известности используемого математического аппарата, широко применяемого в физике), однако вторая более наглядна, поскольку позволяет явно соотнести психофизические понятия с используемыми математическими конструкциями. В рамках дифференциально-геометрического подхода более естественным является использование не Римановой геометрии (широко применяемой в теоретической физике), а более общей геометрии Финслера (Дубровский 1985; Dzhaferov, Colonius 1999; 2001).

Однако ряд основных результатов может быть получен и без использования этого аппарата, на основе только выпуклого анализа (Mullins 1978; Dubrovsky, Logvinenko 1984; Дубровский 1984; Логвиненко 1985; Дубровский, Логвиненко 1991; Logvinenko 1993; 1995; 1996(a); 1996(b); 2003). При этом оказывается, что для множества понятий, используемых в различных моделях зрительного анализатора, можно найти аналоги в выпуклом анализе. Далее будет показано, что можно пойти еще дальше и определить функцию Гамильтона, причем наглядно интерпретируемую, в терминах так называемых многоканальных моделей обнаружения.

Будем считать, что стимул задан в виде функции интенсивности $s = s(x)$, зависящей от вектора x , компонентами которого являются, например, пространственные координаты и времени. Предполагается, что

множество допустимых яркостных функций принадлежит вещественному линейному топологическому пространству $S: s(x) \in S$.

Далее рассматривается класс психофизических экспериментов, в которых наблюдателю предъявляется составной стимул $s+sb$, причем он должен обнаружить тестовый стимул s на заданном (не обязательно однородном) фоне sb . Обозначим через $S_s \subset S$ множество подпороговых стимулов, не отличаеваемых наблюдателем от sb (т.е. S_s зависит от выбора sb). Оно считается заданным в том смысле, что относительно любого стимула можно выяснить опытным путем, принадлежит ли он этому множеству. В дальнейшем для упрощения записи будем обозначать подпороговое множество просто S . Если наблюдатель не может обнаружить некоторый стимул, то он не обнаружит и аналогичный стимул, но меньшего контраста. Это означает, что множество S всегда является поглощающим.

Любому содержащему нулевой элемент множеству S можно поставить в соответствие так называемый функционал Минковского (Иоффе, Тихомиров 1968; Экланд, Тетам 1979).

$$\mu[s|S] = \begin{cases} 0, & \text{если } s = 0 \\ \infty, & \text{если } \lambda^{-1}s \in S \quad \forall \lambda > 0, \quad s \neq 0 \\ \inf(\lambda > 0 | \lambda^{-1}s \in S) & \text{в остальных случаях} \end{cases}$$

Как легко видеть, для него выполняется свойство положительной однородности:

$$\forall \lambda > 0: \mu[\lambda s|S] = \lambda \mu[s|S]$$

Отметим, что один из психофизических методов идентификации подпорогового множества - метод установки - формально использует функционал Минковского. Наблюдателю предъявляется изображение, контраст которого он должен установить на пороговом уровне. Величина, обратная пороговому контрасту и называемая в психофизике контрастной

чувствительностью, равна $\mu[x_s | S]$ где x_s - стимул с единичным физическим контрастом.

Мы будем далее считать, что подпороговое множество S является выпуклым, т.е. содержит отрезок, соединяющий любые два его элемента. В литературе обсуждаются доводы, как в пользу, так и против такого предположения (Mullins, 1978; Dubrovsky, Logvinenko 1984; Дубровский 1984; Логвиненко 1985; Дубровский, Логвиненко 1991; Logvinenko 1993; 1995; 1996(a); 1996(b); 2003).

Сформулируем эту аксиому так, чтобы она допускала более наглядную психофизическую интерпретацию. Предполагается, что если испытуемый не может обнаружить некоторый стимул $x_0 \in S$ и также не обнаруживает стимул с "добавкой" $x_0 + \Delta x \in S$, то он не сможет обнаружить и все промежуточные стимулы $x_0 + \lambda \Delta x \in S$ (где $\lambda \in [0,1]$).

Легко показать, что в этом случае функционал Минковского обладает свойством субаддитивности: $\forall x_1, x_2 \in S: \mu[x_1 + x_2 | S] \leq \mu[x_1 | S] + \mu[x_2 | S]$. Положительно однородные, субаддитивные функционалы будем называть калибровочными функциями, и использовать для них специальное обозначение $K[s]$. Каждой калибровочной функции $K[s]$ однозначно соответствует подпороговое множество S :

$$S = \{x \in S \mid K[s] \leq 1\}$$

Будем считать, что задано вещественное линейное топологическое пространство H , и определена приводящая пространства S и H в двойственность (Робертсон, Робертсон 1967) билинейная форма $\langle x, h \rangle \in S \times H$ ($x \in S, h \in H$), удовлетворяющая аксиомам отдельности: если $\forall x \in S: \langle x, h \rangle = 0$, то $h=0$, если $\forall h \in H: \langle x, h \rangle = 0$, то $s=0$. Элементами пространства H являются заданные на S линейные функционалы, причем

каждый функционал $h \in H$ определяет линейное отображение $s \rightarrow \langle s, h \rangle$, и ему соответствует гиперплоскость $\{s \in S \mid \langle s, h \rangle = 1\}$.

Выпуклое подпороговое множество представимо в виде пересечения полупространств (Иоффе, Тихомиров 1968; Экланд, Темам 1979)

$$S = H^* = \left\{ s \in S \mid \sup_h \langle s, h \rangle \leq 1, \text{ где } h \in H \right\}$$

Здесь $H \subset H$ - некоторое подмножество линейных функционалов $h \in H$, однозначно определяющее $S \subset S$. Множество $S = H^*$ называется полярной множества H . Множество H может быть определено по множеству S :

$$H = S^* = \left\{ h \in H \mid \sup_s \langle s, h \rangle \leq 1, \text{ где } s \in S \right\}$$

Калибровочные функционалы двух полярных множеств связаны следующим неравенством:

$$\forall s \in S, \forall h \in H : K[s] \cdot K^*[h] \geq \langle s, h \rangle$$

Равенство достигается для максимально чувствительных каналов. Действительно, любому $s \in S$ соответствует $h \in H$ такое, что

$$K[s] \cdot K^*[h] = \langle s, h \rangle, \text{ причем, если } h \neq 0, \text{ то } K[s] = \left\langle s, \frac{h}{K^*[h]} \right\rangle = \langle s, h_s \rangle.$$

Аналогично, для любого линейного функционала $h \in H$ найдется такой пороговый

$$\text{стимул } s_h \in S, \text{ что } K^*[h] = \left\langle \frac{s}{K[s]}, h \right\rangle = \langle s_h, h \rangle.$$

В этом смысле стимул s_h является "оптимальным" для данного канала h . Это определение является обобщением классического согласованного фильтра. В самом деле, легко показать, что если пространства $S \equiv H$ совпадают, и множество S является шаром, определяемым квадратичной нормой, то $s = h$.

Преобразованием Юнга - Фенхеля (Иоффе, Тихомиров 1968; Экланд, Темам 1979) функции $F[s]$ называется функция

$$F[h] = \sup_s (\langle s, h \rangle - F[s])$$

Функция называется калибropодобной, если она представима в виде $F[s] = f[K[s]]$, где $K[s]$ – калибровочная функция, f – выпуклая функция на множестве действительных чисел такая, что функция $f[\xi] - \xi\zeta$ достигает своего минимума в точке $\xi \geq 0$ для любого значения параметра $\zeta \geq 0$. Выпуклая функция f удовлетворяет этому условию, если, например, она четна, или если $f \geq 0$ и $f[0] = 0$. Тогда

$$(F[s])' = (f[K[s]])' = f'[K[h]] = F'[h]$$

Теперь мы можем определить функцию $L(s, \Delta s) = f[\mu[\Delta s | S_s]]$, позволяющую для любого фонового стимула S_s определить область неразличимости

$$S_s = \{\Delta s \in S \mid L(s, \Delta s) \leq 1\}$$

По сути дела, это функция Лагранжа. Отметим, что путем выбора соответствующей нормировки, пороговое значение всегда можно выбрать равным 1.

Ей соответствует функция Гамильтона в сопряженном пространстве:

$$H(s, \Delta h) = f'[\mu[\Delta h | H_s]]$$

Итак, задача психофизического обнаружения может рассматриваться в терминах Гамильтоновой структуры в сопряженном пространстве. Естественно, можно задаться вопросом: что дает такое сложное описание? Во-первых, такой формализм позволяет с единых позиций описывать множество различных моделей обнаружения и сравнивать их между собой. Во-вторых, не нужно забывать, что именно Гамильтонов формализм в классической механике позволяет наиболее естественно перейти к механике квантовой. Можно только надеяться, что появление аналогичных теорий в психофизике позволит по-новому взглянуть на проблему обнаружения и ее связь с нейронными моделями зрительной системы.

Библиография:

Дубровский В.Е. Формальная модель детекции в зрительной системе // Анализ сложных информационных систем. М., 1984. Ч. 1. С. 41-44.

Дубровский В.Е. Дифференциальная геометрия и зрительное восприятие // Тезисы докладов всесоюзного симпозиума "Зрение организмов и роботов". Вильнюс, 1985. Т.2. С. 46-47.

Дубровский В.Е., Логвиненко А.Д. Локальная геометрия зрения. М., 1991. Неопубликованная работа.

Иоффе А.Д., Тихомиров В.М. Двойственность выпуклых функций и экстремальные задачи // Успехи математических наук. 1968. Т.13. С. 51-116.

Робертсон А., Робертсон В. Топологические векторные пространства. М.: Мир, 1967.

Логвиненко А.Д. Чувственные основы восприятия пространства. М.: МГУ, 1985.

Рунд Х. Дифференциальная геометрия Финслеровых пространств. - М.: Наука, 1981.

Экланд И., Темам Р. Выпуклый анализ и вариационные проблемы. М.: Мир, 1979.

Dzhafarov, E.N., Colonius, H. Fechnerian metrics in unidimensional and multidimensional stimulus spaces // Psychonomic Bulletin and Review. 1999, N 6. P. 239-268.

Dzhafarov, E.N., Colonius, H. Multidimensional Fechnerian scaling: Basics // Journal of Mathematical Psychology. 2001. N 45. P. 670-719.

Dubrovsky V.E., Logvinenko A.D. Multiple-channel models and single-channel models: same or different? // Proceedings of Symposium "Computational models of hearing and vision". Tallinn. 1984. P. 73-76.

Logvinenko, A. D. Lack of convexity of threshold curves for compound grating: implications for modelling visual pattern detection // Biological Cybernetic. 1993. N 70. P. 55-64.

Logvinenko, A. D. On deriving analyser characteristics from summation-at-threshold data // Biological Cybernetic. 1995. N 73. P. 547-552.

Logvinenko, A. D. Convexity of a set of subthreshold stimuli implies a peak detector // Spatial Vision. 1996. N 10. P. 105-123.

Logvinenko, A. D. On cardinal directions in spatial pattern space and falsifying multi-channel detection models // Spatial Vision. 1996. N 10. P. 189-200.

Logvinenko A. D. Method of quadratic approximation: A new approach to identification of analysers and channels in human vision // Journal of Mathematical Psychology. 2003. N 47. P. 495-506.

Mullins W.W. Convexity theorem for subthreshold stimuli in linear models of visual contrast detection. / Journal of the Optical Society of America. 1978. V.68. P. 456-459.

КРЫЛОВ А. К.

Возможности методики погружения в среду в отличие от методики предъявления стимулов: модельное исследование

Автор благодарит за поддержку фонд РГНФ, № гранта 05-06-06055а, Совет по грантам Президента Российской Федерации ведущим научным школам Российской Федерации (проект №НШ-4455-2006.6), грант ГОСКОНТРАКТ № 02.445.11.7441 от 9.06.06.

Аннотация. В работе осуществлена операционализация различий между методикой предъявления стимулов и методикой погружения в среду. Исследование проведено на компьютерной модели рефлекторного агента погруженного в тестовую среду. Показано, что методика

погружения в среду описывает более широкий класс феноменов и зависимостей: зависимость ситуации от предшествующей ситуации, предшествующего действия, опыта испытуемого; способность испытуемого взаимодействием со средой реструктуризовать среду и порождать неравномерное распределение сложности задач. Полученные данные не исключают возможности применения методики предъявления стимулов для исследования таких форм взаимодействия испытуемого со средой, в которых испытуемый не способен влиять на ситуацию.

Введение

Методика проведения эксперимента, постановка исследовательских задач, способы анализа результатов, и даже выбор оборудования зависят от парадигмы (Кун, 1975), которой исследователь явно или неявно придерживается. В настоящей работе рассматриваются две экспериментальные методики: методика *предъявления стимулов*, и методика *погружения в среду*, связанные с различными научными парадигмами.

В соответствии с парадигмой реактивности (Александров, Крылов, 2005) поведение испытуемого рассматривается как реакции на стимулы, адекватной экспериментальной методикой считается *предъявление стимулов* и регистрация последующего действия испытуемого, выбранного им из ограниченного набора действий, заданных экспериментатором. При этом очередной стимул не зависит, как правило, от предшествующего действия испытуемого, стимулы предъявляются в порядке, выбранном экспериментатором, при этом экспериментатор сам задает и фиксирует вероятности предъявления каждого стимула. Принципиально, что в этой парадигме испытуемый на каждом шаге оказывается в ситуации выбираемой экспериментатором, и не может сам выбрать ее или создать.

В соответствии с парадигмой активности (подробнее см. (Александров, Крылов, 2005)) поведение испытуемого рассматривается как целенаправленное, а каждая ситуация, возникающая в результате предшествующего действия испытуемого, описывается в терминах соотношения субъекта и среды. Алфавит таких соотношений - набор имеющихся у субъекта возможностей по достижению своих целей в данных обстоятельствах. Испытуемый погружается в тестовую среду, и экспериментатор лишь задает закономерности функционирования объектов тестовой среды. Обязательно учитывается мотивационная сфера и последовательность обучения.

Парадигма реактивности является основой объектного подхода в психофизике, в то время как парадигма активности является основой субъектного подхода. При этом, как отмечают И.Г. Скотникова (2003) и А.Н. Гусев (2004) в настоящее время имеется тенденция перехода от объектной психофизики к субъектной. Однако в обоих подходах чаще всего используют методику предъявления стимулов и их случайный порядок (Гусев, 2004). Возможно, поэтому различия между парадигмами не столь отчетливы в психофизике: «реактивное и активное поведение – это не антиподы, а дополняющие друг друга формы приспособления к действительности, между которыми не всегда удается провести отчетливую границу» (Асмолов, 1985, с.18). В психологии восприятия ситуация несколько иная – например, для исследований движений глаз используется методика погружения в среду (Барабанщиков, 2000; Velichkovsky, 2002).

В нашем исследовании проверялось предположение о возможности экспериментального выявления различий между методиками предъявления стимулов и погружения в среду. В данной работе предполагается, что ряд закономерностей взаимодействия испытуемого со средой может быть выявлен лишь погружением в среду, даже если испытуемый адекватно

описывается рефлекторной теорией (РТ), которая предполагает, что такой испытуемый исчерпывающе исследуется методикой предъявления стимулов. Задачей исследования являлся анализ динамики ситуаций, в которых оказывается агент, в зависимости от его собственных действий и от его опыта (от фазы научения). Предполагается, что полученные результаты могут дать более строгое, формальное описание различий между теоретическими конструктами, перечисленными выше, связанными с этими экспериментальными методиками, а также очертить область применимости каждой из методик.

Методика

Мы считаем, что суть концепции реагирования можно определить следующим образом: индивид, в своем действии и состоянии, объективно отражает предшествующий внешний сигнал (Александров, Крылов, 2005). При таком определении, рефлексом f является отражение сенсорной ситуации в действие: $\text{выход}(t+1) = f(\text{вход}(t))$. Модель индивида, поведение которого обеспечивается рефлексам, будем называть рефлекторным агентом. Рефлекторный агент обучается каждой сенсорной ситуации ставить в соответствие некоторое действие, которое он будет в ней совершать. Точнее, такой агент может в одной ситуации выполнять различные действия с некоторыми вероятностями. Определение этих вероятностей для каждой ситуации и составляет задачу научения рефлекторного агента. Эти величины задаются не экспериментатором, они определяются самим агентом благодаря алгоритму обучения имитирующим работу его «мозга».

Использовалась тестовая задача фуражирования – агент движется на плоскости, «поедая» пищевые объекты (рис. 1) (Крылов, 2005). После «поедания» агентом одного объекта, в случайном месте появляется новый объект. В каждый такт времени агент получает информацию о текущем состоянии среды на свои сенсоры (аналог стимула в РТ) и совершает одно

из следующих действий (аналог реакции в РТ): захват пищи, поворот направо, поворот влево, ожидание. Агент имеет несколько визуальных сенсоров, каждый из которых детектирует наличие пищевого объекта в соответствующем секторе зрительного поля. В качестве управляющего алгоритма и алгоритма обучения был выбран алгоритм Actor/Critic (Baldassarre, 2000). В соответствии с этим алгоритмом агент обучается набору рефлексов: каждой возможной сенсорной ситуации (из 8 возможных ситуаций в данной модели) ставит в соответствие действие из заранее заданного набора возможных действий (4 возможных действия в данной модели). Момент окончания обучения оценивался по выходу кривой научения на плато.

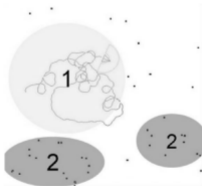


Рисунок 1. Реструктуризация среды собственными действиями агента. Пример одной из реализаций модели. Можно заметить области низкого (помечены «1») и высокого (помечены «2») скопления объектов. По траектории движения агента видна длительность безуспешного поиска очередного объекта в области «1».

Результаты и их обсуждение

Агент успешно решает данную тестовую задачу, обучаясь набору рефлексов типа «если объект справа, то поворот вправо», «если объект в области захвата, то захват». Действия агента в модели определялись исключительно предшествующей ситуацией, поэтому известный «эффект последовательности» (Безденежных, 2004), заключающийся в зависимости действия от цепочки предшествующих ситуаций и от предшествующего действия, не моделировался и не наблюдался. Напротив, заложенная в основу модели зависимость действия от предшествующей ситуации, полностью описывает содержание сформированных рефлексов (Крылов, 2004). Она может быть адекватно выявлена методикой предъявления стимулов, поэтому здесь не представлена. Далее будут представлены феномены, не выявляемые методикой предъявления стимулов:

1) Тестовая среда такова, что вероятность появления нового объекта в любом месте среды одинакова, поэтому объекты появляются в среде равномерно. Однако обнаруживается, что в результате действий агента, объекты оказываются распределены в среде неравномерно (рис.1). Благодаря действиям агента работающего с задачей происходит реструктуризация среды. В результате этого, агент, собрав объекты на одном локальном участке, может потратить немало времени в поисках следующего объекта (рис.1). Сложность субзадачи поиска очередного объекта оценивалась как время, затрачиваемое на ее решение, т.е. на обнаружение объекта, подход к нему и захват. Оказалось, что сложность этой субзадачи имеет экспоненциальный характер роста, что обусловлено взаимодействием агента со средой. С точки зрения методики предъявления стимулов, это означало бы, что испытуемому предъявляются задачи, сложность которых имеет экспоненциальный характер роста, в то время как в этой методике принято предъявлять задачи примерно одинаковой сложности для последующего усреднения результатов.

2) Вследствие обучения, для агента меняется вероятность оказаться в той или иной ситуации, несмотря на неизменные закономерности тестовой задачи. Например, вероятность оказаться в ситуации «видны 2 объекта» растет в процессе обучения более чем в 1.5 раза. С точки зрения РТ это означает, что рефлекторный агент в свободном поведении способен до некоторой степени определять, какие стимулы он «получит». В другой модельной работе это свойство названо "self-selecting of input stimuli" (Nolfi, Parisi, 1993).

3) Показано, что возникновение какой-либо ситуации зависит от предшествующей ситуации и от опыта агента. Например, вероятность того, что объект окажется в области захвата, если до этого он был справа, составляет 4% в начале обучения. В конце обучения эта величина составляет более 15%. В терминологии РТ это означает, что очередной стимул зависит от предыдущего и от опыта испытуемого. Такая зависимость исключается в методике *предъявления стимулов*, поскольку стимулы принято предъявлять в случайном порядке.

4) Показано, что возникновение какой-либо ситуации зависит от предшествующей ситуации, от выбранного агентом действия, и от опыта агента. Например, вероятность того, что объект окажется в области захвата, если до этого он был справа и совершается действие «поворот влево» (неверное), составляет около 5% в начале обучения. В конце обучения эта величина составляет уже около 10%. В терминологии РТ это означает, что очередной стимул зависит от предыдущего стимула, от предыдущей реакции испытуемого, и от опыта испытуемого.

Заключение

Методика предъявления стимулов позволяет выявить зависимость действия испытуемого от предшествующей ситуации, в которой он оказался.

Методика погружения в среду, дополнительно к этому, позволяет выявить:

- способность испытуемого перераспределить объекты в среде, реструктуризовать среду собственными действиями; влияние испытуемого на сложность задач, с которыми он сталкивается; неравномерность распределения сложности задач порожденную взаимодействием испытуемого со средой;
- зависимость вероятности возникновения какой-либо ситуации от предыдущей ситуации, от предыдущего действия, от опыта испытуемого (в терминологии рефлексорной теории – зависимость вероятности предъявления данного стимула от типа предыдущего стимула, реакции на него испытуемого, и от опыта испытуемого);

Наши результаты показывают, что методика *погружения в среду* позволяет учесть более широкий класс феноменов и зависимостей, чем методика *предъявления стимулов*. Полученные данные не исключают возможности применения методики предъявления стимулов для исследования таких форм взаимодействия испытуемого со средой, в которых испытуемый не способен влиять на ситуацию. К такому классу задач, вероятно, могут относиться случай беспомощного субъекта, и возникновение каких-либо неожиданных событий.

Библиография:

Александров Ю.И., Крылов А.К. Системная методология в психофизиологии: от нейронов до сознания // Идея системности в современной психологии / Под ред. В.А. Барабанщикова. М.: Институт психологии РАН, 2005. С.119-157.

Асмолов А.Г. Принципы организации памяти человека. М.: МГУ, 1985.

Барабанщиков В.А. Системогенез чувственного восприятия. М.: Институт практической психологии, Воронеж: НПО «МОДЭК», 2000.

Безденежных Б.Н. Динамика взаимодействия функциональных систем в структуре деятельности. М.: Институт психологии РАН, 2004.

Гусев А.Н. Психофизика сенсорных задач: Системно-деятельностный анализ поведения человека в ситуации неопределенности. М.: МГУ: УМК «Психология», 2004.

Крылов А.К. Оценка применимости рефлекторной модели нейронной сети к поведенческой задаче. // Труды VI Всероссийской научно-технической конференции «Нейроинформатика-2004». М.: МИФИ, 2004.

Крылов А.К. Тестовая поведенческая задача минимально необходимой сложности: скрытая динамика // Труды международной научно-технической конференции «Интеллектуальные системы» (AIS'05). М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. Т.1. С. 237-244.

Кун Т. Структура научных революций. М.: Прогресс, 1975.

Скотникова И.Г. Современное состояние субъектной психофизики. // Материалы конференции «Психология: Современные направления междисциплинарных исследований». М.: ИП РАН, 2003. С.433-442.

Baldassarre G. Needs and motivations as mechanisms of learning and control of behaviour: Interference problems with multiple tasks // Cybernetics and Systems 2000 - Proceedings of the Fifteenth European Meeting on Cybernetics and Systems Research / Ed. Trappl R., 2000. P. 677-682.

Nolfi S., Parisi D. Self-selection of input stimuli for improving performance // Neural Networks and Robotics / Ed. G. A. Bekey. Kluwer Academic Publisher, 1993. P. 403-41.

Velichkovsky B.M. Heterarchy of cognition: The depths and the highs of a framework for memory research // Memory, 2002. Vol. 10 (5/6), P. 405-419.

**Моделирование пространства эмоциональных выражений
лица человека**

Аннотация. По данным субъективных оценок различия эмоциональных выражений лиц методом неметрического многомерного шкалирования построено четырехмерное категориальное пространство восприятия эмоций. На раннем этапе восприятия происходит категоризация эмоций как по конфигуративным характеристикам, так и по значению. Континуум эмоций, представленный в стимулах – фотографиях, разбивается на отдельные категории, соответствующие базовым эмоциям. Две из четырех осей пространства характеризуют конфигуративные характеристики лиц: кривизну рта и положение бровей. Угловая координата в плоскости этих осей соответствует «эмоциональному тону». Ось 3 описывает характеристику «активности», ось 4 – характеристику «силы» эмоций.

Лицевая экспрессия дает информацию об аффективных состояниях (включая как базовые эмоции, так и более сложные чувства и настроения), когнитивной активности, темпераменте и других индивидуальных свойствах, позволяет распознать ложь и различные типы психопатологий. Одним из первых рассматривать эмоции как измеримую часть сознания стал Спенсер. Вундт предложил описывать эмоциональную (чувственную) сферу сознания, оценивая ее с помощью трех измерений: удовольствие – неудовольствие, возбуждение – спокойствие, напряжение – разрядка.

Первая система классификации выражения отдельных эмоций принадлежит Вудворту (Woodworth, 1938, с. 638). Результаты суждения 100 наблюдателей о 86 неизвестных эмоциях, изображенных на фотографиях профессиональной актрисы, Вудворте расположил в квадратную матрицу частот (по столбцам матрицы – значения выраженных

эмоций, по строкам – суждения испытуемых) таким образом, чтобы соседние значения максимально коррелировали. «Разбросанные» суждения, не включенные Вудвортом в его матрицу, составили менее 5%. В результате он получил модель, описывающую эмоции как континуум. Вудворте указывает, что полученная им шкала может считаться линейной с некоторыми оговорками: «страдание располагается на боковой линии от страха, а решимость – на боковой линии от гнева (там же, с. 637)». Таким образом, в итоговую шкалу Вудворта вошли следующие 6 градаций: 1) любовь, счастье, радость; 2) удивление; 3) страх и страдание; 4) гнев и решимость; 5) отвращение; 6) презрение.

Шкала Шлосберга включает шесть категорий, выделенных Вудвортом, но располагаются они по кругу. В связи с этим, по Шлосбергу, категории «любовь, радость, счастье» и «презрение» оказываются смежными. Пространство мимических паттернов описывается в этой модели с помощью двух ортогональных осей: 1) удовольствие (на этом полюсе находится «радость») – неудовольствие («гнев, решимость») и 2) принятие – отвержение (Изард, 2006, с. 47-48). На пересечении двух осей находится нейтральное выражение лица. В экспериментах Шлосберга испытуемые оценивали выражения лиц на фотографиях по двум шкалам от 1 до 9, соответствующим осям пространства. Корреляция между отнесением фотографии к одной из категорий Вудворта и шкалированием по Шлосбергу составила в среднем 0,76 (там же, с. 49). При этом чем ярче был выражен один из признаков Шлосберга, тем выше была корреляция. Впоследствии под влиянием работ других исследователей Шлосберг ввел третью ось: 3) сон – напряжение. В специальном эксперименте получены коэффициенты корреляции 0,94, 0,87 и 0,92 для первой, второй и третьей осей соответственно (там же, с. 49). По Шлосбергу, максимум напряжения положительно коррелирует с полюсом неудовольствия. Кроме того, возникают сомнения (Рейковский, 1979) в

отсутствии положительной корреляции между осями «принятие» и «удовольствие» и между измерениями «принятие - отвержение» и «сон - напряжение» (Изард, 2006, с. 49).

Обширное исследование мимики, проведенное Огудом, позволило ему сформулировать 3 измерения экспрессии, которые он интерпретировал в терминах семантических измерений лингвистических сигналов (Рейковский, 1979). Он пришел к выводу, что эти выявленные им измерения – удовольствие, активность и контроль – соответствуют его семантическим измерениям оценки, активности и силы.

Методами многомерного шкалирования субъективных различий между эмоциональными выражениями схематических лиц и названиями эмоций были получены трехмерные пространства эмоциональных стимулов. Также были получены комбинированные пространства для названий эмоций и цветовых стимулов, показавшие сходство кодирования цвета и эмоций (см. обзор в работе 4). В работе (4) авторами получено четырехмерное пространство для схематических лиц. В этой геометрической модели эмоционального различия евклидовы расстояния между стимулами пропорциональны воспринимаемым различиям эмоциональных выражений. Три угла четырехмерной сферы соответствуют субъективным характеристикам: эмоциональный тон, интенсивность эмоций и "эмоциональная насыщенность". Декартовы координаты характеризуют возбуждения нейронных каналов, кодирующих ориентацию линий. Показано, что структура эмоционального пространства аналогична структуре цветового пространства.

В работе (5) использовались различные процедуры оценки сходства между стимулами, представленными пятью «чистыми» эмоциями, взятыми из работ Экмана и др.(6) и полученными с помощью компьютерной модификации («морфинг») изображениями смешанных эмоций. Переходы от одной «чистой» эмоции к другой (включая сами изначальные

фотографии) состояли из разного количества изображений, всего был использован 31 стимул. Четыре серии исследований дали сходные результаты: в трехмерном пространстве стимулы располагаются не равномерно, а составляют отдельные категории, расстояния между которыми больше, чем внутри каждой из них.

Задача данного исследования: методом многомерного шкалирования построить пространство восприятия эмоций на лице человека и сравнить его с сферическим пространством восприятия эмоций на схематическом лице (Измайлов и др., 1999), полученным тем же методом, и категориальным пространством, полученным в работе (Bimer et al., 2001).

Испытуемые: в опытах участвовали 11 женщин и 3 мужчины. В каждой серии испытуемые получали инструкцию оценивать различия между стимулами, используя числа от 1 (наименьшее различие) до 9 (максимальное различие), и давать свой ответ как можно быстрее, по первому впечатлению.

Описание стимулов: В данном исследовании фотографии изображения различных эмоций актрисой взяты из работ Экмана и др. (Ekman et al., 1978, 2002). По Экману, мимическое выражение является функцией от движения примерно 50 лицевых мышц. Для проведения эксперимента контрастность фотографий увеличена так, чтобы они различались по нескольким наиболее существенным графическим характеристикам: изображения различаются по степени поднятия бровей и ширине открытия глаз, кривизне линии рта (уголки подняты, опущены) и степени открытия рта (губы сжаты, рот открыт), степени напряжения мышц средней части лица. Таким образом, фотографии несут в себе значительно больше графической информации, нежели схемы лица (схематические лица, использованные в работе (Измайлов и др. 1999), отличались по 2 параметрам – кривизна губ и кривизна бровей). Кроме того, мимические паттерны изменяются взаимосвязанно. Фотографии

были подобраны таким образом, чтобы шесть базовых эмоций (по Экману, это радость, удивление, страх, печаль, отвращение и гнев) были представлены по возможности равномерно и отражали плавные переходы от одной эмоции к другой в порядке, указанном выше. Каждый переход от одной «чистой» эмоции до другой представлен четырьмя градациями (иначе, каждая эмоция представлена четырьмя фотографиями). Всего использовано 24 фотографии эмоций и 1 фотография нейтрального выражения лица.

25 стимулов предъявлялись испытуемым попарно (каждая пара по 2 раза, всего 600 предъявлений) на экране компьютера. Время предъявления каждой пары – 1,8 с. После каждого предъявления стимулов испытуемый оценивал их различие.

Результаты. Для каждой пары стимулов оценки усредняли по предъявлениям и по испытуемым. Средние оценки были сведены в матрицу попарных различий, которая анализировалась методом неметрического многомерного шкалирования. Размерность пространства на основании суммарного расхождения (стресса) взята равной 4, что согласуется с результатами, полученными в (Измайлов и др., 1999). Оси 1 и 2 полученного пространства характеризуют конфигуративные характеристики лиц: кривизну рта (на полюсах шкалы 1 губы с поднятыми и опущенными уголками) и положение бровей (на полюсах шкалы 2 брови расслабленные, ровные и поднятые, напряженные). Угловая координата в плоскости осей 1 и 2 соответствует эмоциональному тону (например, описанному круговой шкалой Вудворта – Шлосберга). Ось 3 можно интерпретировать как ось расслабления – напряжения, или ось активации (такое название весьма условно: на одном полюсе – стимулы, соответствующие ярко выраженному страху, на другом – незначительно выраженная печаль). По оси 4 наибольший разброс выявлен между точками, соответствующими изображениям гнева и отвращения, поэтому

ось можно интерпретировать как ось агрессии – избегания, или ось силы. Отдельные стимулы сгруппировались в 6 классов, расстояния между которыми меняются в проекциях на разные оси, но в целом межгрупповые расстояния больше, чем внутри каждой группы. Однако во взаимном расположении классов в пространстве наблюдается следующая закономерность: классы 1) «радости», 2) «удивления», и 3) совокупность негативных эмоций располагаются по дугообразной траектории, близкой к окружности, в плоскости 1 и 2 осей. Оси 3 и 4 выявляют взаимное расположение негативных эмоций (противопоставление страха и печали, и гнева и отвращения). Подобная нелинейность конфигурации хорошо согласуется в том числе и с результатами Вудворта (см. выше).

Выводы

Проведена первая серия исследований по шкалированию эмоциональных различий лиц человека, в результате которой получено категориальное пространство восприятия эмоций. Дальнейшие исследования предполагают измерение и оценку различий в амплитудах вызванного потенциала различения (ВПР) на использованные в работе стимулы, аналогичную процедуру из работы (Измайлов и др., 1999).

1 и 2 оси категориального пространства описывают такую характеристику как эмоциональный тон. 3 и 4 оси описывают негативные эмоции, а именно их различия в активности и силе.

Библиография:

Woodworth, R. S. Experimental psychology. New York: Henry Holt & Co, 1938 (в сокращенном русском переводе под ред. Г.К. Гуртовского и М.Г. Ярошевского: Вудворте, Р.С. Экспериментальная психология. Москва: Издательство иностранной литературы, 1950).

Изард, К. Э. Психология эмоций. СПб: Питер, 2006.

Рейковский, Я. Экспериментальная психология эмоций. Москва: Прогресс, 1979.

Измайлов Ч.А., Коршунова С.Г., Соколов Е.Н. Сферическая модель различения эмоциональных выражений схематического лица человека // Журнал Высшей Нервной Деятельности. Том 49. Вып. 2. Москва, 1999.

Bimer, D., Kirkland, J. Categorical perception of facial expressions of emotion: Evidence from multidimensional scaling // Cognition and emotion. 2001, 15 (5).

Ekman P., Friesen W.V. Facial action coding system // Manual. Palo Alto, CA: Consult. Psychol. Press, 1978.

Ekman, P., Friesen, W.V., Hager, J.C. Facial Action Coding System: The Manual. HTML demonstration version. Salt Lake City: A Human Face, 2002.

МЕНЬШИКОВА Г.Я.

Зрительные иллюзии как способ исследования восприятия светлоты поверхности

Работа поддержана грантом РФФИ № 06-06-80390-а.

Аннотация. В проведенном нами экспериментальном исследовании изучалось влияние воспринимаемой освещенности поверхности на оценку светлоты, используя классическую иллюзию «крест Бенари». Результаты показали, что величина иллюзии резко уменьшается при изменении гипотезы об освещении наблюдаемой поверхности. Наблюдаемое изменение выраженности иллюзии хорошо объясняется на основе гипотезы инвариантных отношений между воспринимаемой освещенностью и цветом поверхности.

В классической психологии зрительного восприятия принято различать два уровня построения образа: сенсорный и когнитивный. В

различных научных подходах двуплановость формирования образа была обозначена разными понятиями: первичный образ и образ восприятия - в концепции Г. Гельмгольца, видимое поле и видимый мир - в экологическом подходе Дж. Гибсона, чувственная ткань и предметное содержание - в школе А.Н. Леонтьева. В последние два десятилетия появилось много экспериментальных исследований, как в области нейрофизиологии, так и в области когнитивной нейрологии, позволяющих предположить, что процесс формирования образа можно рассматривать как многоуровневую организацию. Так, при помощи метода магнитно-резонансной томографии, было показано, что процессы формирования сенсорной основы образа, группировки отдельных параметров образа и процессы категоризации происходят в различных отделах мозга, что подтверждает гипотезу об уровневой структуре обработки зрительной информации. В рамках этого подхода процесс формирования образа рассматривается, по меньшей мере, на трех разных уровнях, которые условно обозначаются как сенсорный, кортикальный и когнитивный. Данный подход оказался плодотворным для объяснения оптико-геометрических иллюзий (Cogan, 1978), а также для объяснения иллюзий светлоты (Adelson, 2000). Наибольший интерес для психологии зрительного восприятия, с нашей точки зрения, представляет изучение механизмов работы когнитивного уровня, при помощи которых происходит формирование перцептивного образа объектов внешнего мира. На высшем когнитивном уровне в процесс восприятия включаются знания о свойствах объектов и оценка общей структуры воспринимаемой сцены. Подход, в котором восприятие отдельных параметров феноменального образа объяснялось при помощи когнитивных процессов, связывают с именем Г. Гельмгольца. Процесс построения зрительного образа представляется как сложная "интерпретация" данных, полученных от предыдущих уровней обработки информации. Зрительная система может

эффективно работать только в том случае, если она учитывает экологические свойства объектов, т.е. вероятностные связи между воспринимаемым параметром образа и параметрами объектов внешнего мира. Это означает, что зрительный образ строится с учетом закономерных связей внешнего мира. Те изменения, которые происходят во внешнем мире, отображаются на сенсорном уровне и затем интерпретируются зрительной системой на более высоком когнитивном уровне. Согласно представлениям Г. Гельмгольца, интерес представляют не сенсорные механизмы, а правила интерпретации, поскольку именно они определяют значения параметров образа восприятия. В соответствии с подходом Г. Гельмгольца, оценка отдельных параметров может сильно изменяться, если меняется интерпретация всей сцены в целом. Правила интерпретации формируются на основе прошлого опыта субъекта.

Наша задача состояла в исследовании когнитивных правил, определяющих такой перцептивный параметр феноменального образа как ахроматический цвет поверхности. Наиболее важными параметрами объектов окружающего мира для зрительной системы человека являются размер, форма и цвет. Изменение положения объектов относительно наблюдателя существенно изменяет структуру светового потока, попадающего на светочувствительную поверхность глаза – сетчатку, что приводит к изменению проекции размера объекта, его формы и яркости на сетчатке. Это означает, что параметры объекта неоднозначно представлены в сетчаточном образе и должны на основе дополнительных зрительных признаков «вычисляться» на более высоких уровнях обработки информации в зрительной системе. Ахроматический цвет поверхности или светлоты – один из таких параметров. Ахроматические цвета определяются как цвета в черно-серо-белом диапазоне. Основным параметром, данным зрительной системе для оценки светлоты, является яркость светового потока, отраженного от данного участка поверхности. Яркость

отраженного светового потока зависит от многих параметров – интенсивности падающего на поверхность света, отражающей способности или альбедо поверхности, ориентации поверхности относительно наблюдателя и др. Поскольку информация о яркости поверхности, представленная на сетчатке, многозначна, зрительной системе необходимо использовать дополнительные зрительные признаки. Поиск зрительных признаков, необходимых для оценки светлоты, посвящено большое количество исследований (Anderson, 1997; Gilchrist, 1977; Todorovic, 1997). На когнитивном уровне для оценки светлоты поверхности предположительно появляются зрительные признаки, согласно которым происходит формирование всей сцены в целом. В первую очередь к ним относятся признаки трехмерной сцены, так называемые 3D-признаки. К ним можно отнести классические признаки восприятия глубины – перспективу, бинокулярную диспаратность, плотность текстуры поверхности, распределение светотени. Были проведены экспериментальные исследования, в которых проводилось изучение влияния отдельных признаков на оценку светлоты. В ряде экспериментов (Beck, 1965; Gilchrist, 1977) было показано, что иллюзорное изменение такого зрительного признака как наклон поверхности влекло за собой изменение оценки светлоты даже в том случае, когда проекция сцены на сетчатку оставалась относительно неизменной. В других исследованиях (Меньшикова, Лулякова, 1996) было изучено и сформулировано правило взаимодействия воспринимаемой освещенности и светлоты поверхности, которое показало влияние признака воспринимаемой освещенности на светлоту. Кроме указанных выше признаков, были предложены и экспериментально изучены такие признаки как затененность поверхности (Adelson, 1993), локализация источника освещения, распределение светотени в зависимости от формы объекта (Knill, Kersten, 1991). Данные

исследования показывают, какое большое число признаков оказывают влияние на оценку светлоты поверхности.

Задача нашего экспериментального исследования состояла в изучении влияния воспринимаемой освещенности поверхности на оценку светлоты, используя классическую иллюзию «крест Бенари». Гипотеза исследования формулировалась следующим образом: выраженность иллюзии может изменяться в зависимости от воспринимаемой освещенности поверхности. Экспериментальное исследование состояло из двух сессий. В первой сессии испытуемым предъявлялся выпуклый двухгранный угол, сделанный из плотной белой бумаги, к обеим граням которого был прикреплен рисунок иллюзии Бенари. Одна из граней была освещена сильнее, чем другая. Испытуемые должны были оценить выраженность иллюзии для граней с различным освещением. Во второй сессии тем же испытуемым предъявлялась та же сцена, однако, в отличие от предыдущей сессии, испытуемые наблюдали сцену через псевдоскоп, иллюзорно изменяющий наклон граней (выпуклый угол воспринимался как вогнутый). Иллюзорное изменение наклона поверхности приводило к изменению гипотезы об освещении: иллюзорно вогнутые грани угла казались одинаково освещенными, но по разному окрашенными. Испытуемые вновь должны были оценить выраженность иллюзии Бенари. Оценка проводилась при помощи стандартного набора Манселловских карточек, прикрепленных над двугранным углом. Оригинальность методики состояла в том, что сенсорная информация (распределение освещенности на сетчатке) оставалась неизменной как для первой, так и для второй сессии, однако интерпретация параметров видимой сцены резко изменялась. В первой сессии грани воспринимались одинаково окрашенными, но по разному освещенными, во второй – одинаково освещенными, но по разному окрашенными. В эксперименте участвовало 10 испытуемых с нормальным или скорректированным зрением.

Результаты проведенного эксперимента показали, что выраженность иллюзии «крест Бенари» изменяется в зависимости от воспринимаемой освещенности поверхности. Величина иллюзии резко уменьшается при изменении гипотезы об освещении наблюдаемой поверхности. Наблюдаемое изменение выраженности иллюзии хорошо объясняется на основе гипотезы инвариантных отношений между воспринимаемой освещенностью и цветом поверхности.

Библиография:

Меньшикова Г.Я., Луизкова Е.Г. Перцептивное взаимодействие ахроматического цвета поверхности и ее воспринимаемой освещенности. Вестник МГУ. Психология. М., 1996. Вып.1. С. 22-30.

Adelson E.H. Perceptual organization and judgment of brightness // Science. 1993. 262. P. 2042-2044.

Adelson E.H. Lightness perception and lightness illusions // The New Cognitive Neurosciences / Ed. M.S. Gazzaniga. 2nd Ed. Cambridge, MA: MIT Press. 2000. P. 339-351.

Anderson B.L. A theory of illusory lightness and transparency in monocular and binocular images: the role of contour junctions // Perception. 1997. 26. P. 419-453.

Beck J. Apparent spatial position and the perception of lightness / Journal of Experimental Psychology. 1965. 69. №2. P. 170-179.

Coren S., Girgus J.S. Visual illusions // Handbook of Sensory Physiology / Eds. R.N. Leibowitz & H.L. Teuber. 1978. P. 549-569.

Gilchrist A.L. Perceived lightness depends on perceived spatial arrangement // Science. 1977. 195 (4374). P. 185-187.

Knill D., Kersten D. Apparent surface curvature affects lightness perception // Nature. 1991. 351. P. 228-230.

Todorovic D. Lightness and junctions. Perception. 1997. 26(4). P. 379-94.

МОРОЗОВ В.П.

О психофизических коррелятах эстетических свойств голоса певцов разных профессиональных уровней

Работа выполнена при поддержке Российского гуманитарного научного фонда. Проект № 04-06-00322а

Аннотация. Психофизика со времен С.С. Стивенса значительно эволюционировала в область изучения объективных основ субъективной оценки значительно более сложных стимулов, в частности – восприятия звуков речи. Практически неисследованными остаются психофизические основы эстетических свойств вокальной речи (пения). Доклад посвящен разработанным автором психофизическим подходам и методам оценки полезности и помехоустойчивости певческого голоса.

В практике вокального искусства издавна высоко ценится свойство голоса певца преодолевать значительные расстояния, заполнять концертные залы большого объема, а главное – противостоять маскирующему воздействию окружающих звуков (оркестр, хор, музыкальное сопровождение). Старые итальянские вокальные педагоги называли это свойство термином *portata de la voce*, что означает *способность голоса нестись*. В отечественной литературе нередко употребляется термин *носкость голоса* (Аспелунд, 1952), что, очевидно, связано с буквальным переводом итальянского *portare* (*нести*). Мы считаем, что для обозначения указанного свойства голоса более удачным русским термином является *волетность* голоса (Морозов, Барсов, 1965; Морозов, 2002).

Весьма любопытно, что по наблюдениям практиков вокального искусства волетность не является обязательной принадлежностью

больших голосов. Нередко оказывается, что голос певца, производящий впечатление мощного звучания в небольшом помещении (например, в классе), «не звучит» на сцене, в большом концертном зале, маскируется звуками музыкального сопровождения («не режет оркестр», по выражению дирижеров), воспринимается на слух глухо и завуалировано. С другой стороны, встречаются весьма «скромные» голоса, казалось бы, совершенно не способные озвучить большие объемы помещений, но на деле прекрасно звучащие на большой сцене, хорошо слышные во всех точках театрального зала, четко выделяющиеся среди звуков музыкального сопровождения и других голосов, т.е. полетные голоса.

Выдающиеся мастера вокального искусства и опытные педагоги всегда придавали исключительно большое значение развитию хорошей полетности голоса. Профессор вокальной кафедры Ленинградской консерватории Е. Г. Ольховский писал: «Полетность (по современной терминологии) голоса Баттистини была исключительной. Он обладал редкой способностью *преодолевать значительные расстояния, плохие акустические условия зрительного зала, преувеличенное звучание оркестра*» (Ольховский 1966, с. 9; разрядка моя, – В. М.). Таким же свойством прекрасной полетности обладал голос величайшего из наших отечественных певцов – Ф.И. Шаляпина (Морозов, 2002).

Несмотря на важность исследуемой проблемы, практика вокального искусства не выработала количественных критериев для оценки полетности голоса. Полетность обычно оценивается на слух и характеризуется лишь в приблизительных, качественных терминах (*хорошая* или *плохая*). С этой целью жюри обычно располагается подальше от сцены в глубине зала. При этом самым существенным критерием определения полетности признается свойство голоса певца

*противостоять маскирующему воздействию звуков оркестра*¹. Последний критерий весьма существен, так как позволяет предполагать, что полетность определенным образом связана с *помехоустойчивостью* звука певческого голоса. Предположение это, однако, экспериментально не обосновано, что и побудило нас предпринять экспериментальные исследования.

Метод измерения помехоустойчивости вокальных гласных

При разработке метода измерения помехоустойчивости вокальной речи возникла необходимость в первую очередь решить два вопроса: 1) о выборе помехи, 2) о критериях помехоустойчивости. Что касается первого вопроса, то несмотря на то что в теории и практике музыкального искусства голос певца и музыкальное сопровождение представляют собой два гармонических компонента единого целого (т. е. ансамбля), с интересующих нас позиций (и понятия помехоустойчивости) звуки вокальной речи целесообразно рассматривать как «*полезный сигнал*», а музыкальное сопровождение – как «*шум*» или «*помеху*». Вместе с тем вполне естественно, что избрать в качестве «помехи» звуки музыкального сопровождения (например, оркестр) не представляется целесообразным ввиду чрезвычайной нестационарности и вариабельности акустических параметров этой «естественной помехи» (флуктуаций в широких пределах, уровня интенсивности, спектрального состава, частотно-временных характеристик и пр.). Ввиду этого в качестве стандартной помехи мы избрали широкополосный шум, приближающийся по своему спектральному составу к наиболее типичным акустическим помехам, нередко употребляемым инженерами связи для исследования помехоустойчивости трактов электрорадиосвязи (Покровский, 1962). Типичные шумовые помехи подобного рода известны под термином *шум*

¹ Известно, что на последних турах всех конкурсов вокалистов певцы поют в сопровождении оркестра. Одной из важных целей оркестрового сопровождения, по мнению специалистов, является выделение степени полетности голоса.

речевого спектра, комнатный шум, шум Хота и т. п. Избранный нами шум, имеющий максимум спектральной энергии в полосе 160–700 Гц и постепенное спадение к высоким частотам (≈ 9 дБ на октаву), аналогичен подобному рода шумам, а кроме того – близок к усредненному спектру оркестра, т. е. к «естественной помехе» вокальной речи. Эти соображения и позволили нам применить указанный шум в качестве стандартной помехи при наших исследованиях.

В качестве критерия помехоустойчивости вокальных гласных мы избрали критерий пороговой маскировки сигнала шумом. Исследуемый сигнал (той или иной гласный), воспроизводимый с магнитофона (МЭЗ), микшировался с шумовой помехой, подаваемой на микшер с генератора шума (ГШ). С выхода микшера «смесь» сигнала с шумом подавалась на головные телефоны оператора. Интенсивность данного шума, подаваемого на микшер, была постоянной ($U_{ш}=500$ мВ), интенсивность сигнала можно было изменять плавным регулятором на выходе магнитофона.

Задача оператора, слушающего через телефоны «смесь» сигнала с шумом, состояла в изменении уровня сигнала до установления его пороговой величины в шуме. После нахождения оператором пороговой величины сигнала шум отключался и установленная им интенсивность сигнала измерялась при помощи лампового вольтметра.

Критерием помехоустойчивости было взято отношение шум/сигнал, которое выражалось по формуле:

$$\beta = 20 \lg U_{ш}/U_{с} \text{ дБ},$$

где β – коэффициент помехоустойчивости сигнала (в дБ); $U_{ш}$ – напряжение (в мВ), развиваемое сигналом шума на телефонах оператора;

U_c – пороговая величина сигнала (в мВ) на телефонах оператора². Операторами в наших опытах (по обнаружению сигнала в шуме) была группа лиц (6 человек) из числа студентов разных факультетов консерватории. Предварительно операторы проходили тренировку, с тем чтобы избежать возможности случайных ошибок. Пороги маскировки каждого сигнала в шуме оператор находил по несколько раз, пользуясь как методом увеличения уровня сигнала от нуля до пороговой величины, так и методом уменьшения его от заведомо надпороговой величины к порогу. Все показания операторов суммировались и для каждого сигнала находилась средняя величина, характеризующая среднюю помехоустойчивость данного сигнала.

С целью обеспечения непрерывного звучания исследуемого сигнала в течение всего опыта по определению порогов, который длился не менее 7–10 мин, был применен «метод кольца». Гласные разных испытуемых записывались на магнитофонную ленту, участки ленты с записью этих гласных вырезались и концы ленты склеивались. Образованное кольцо с записью гласного при помощи оттяжки с роликом воспроизводилось на магнитофоне, обеспечивая непрерывное звучание гласного.

Сравнительная помехоустойчивость вокальных и речевых гласных

При исследовании помехоустойчивости гласных было взято три группы испытуемых (всего 20 человек): 1) профессиональные оперные певцы, обладающие (по мнению специалистов) отличной полетностью голоса, 2) студенты консерватории с отличной и хорошей полетностью голоса (по мнению вокальных педагогов), 3) группа невокалистов (с заведомо плохой полетностью).

² Дифференциальный коэффициент ввиду того, что измеренные электрические напряжения сигнала и шума на телефонах оператора пропорциональны, как известно, не интенсивности звука (Вт/см^2), а звуковому давлению (Дин/см^2).

Особо следует оговорить, что третья группа была сформирована из лиц, не обладающих какими-либо особыми вокальными данными: эти испытуемые пением специально не занимались. В целом способ звукообразования у всех испытуемых этой группы мог быть охарактеризован как речевой способ: они просто протяжно фонировали обычные речевые гласные. Поскольку гласные эти резко отличались от вокальных (не обладали необходимым «вокальным» тембром, в них отсутствовало вибрато и т. д.), мы в дальнейшем будем называть их просто *речевыми гласными*¹.

Результаты исследования, приведенные в табл. 1, говорят о том, что вокальные гласные обладают большей помехоустойчивостью ($\beta=20-25$ дБ), чем речевые ($\beta=17$ дБ). Вместе с тем как среди певцов, так и среди невокалистов наблюдаются существенные индивидуальные различия по величине коэффициента помехоустойчивости. Анализ этих различий позволяет заключить, что наибольшей помехоустойчивостью обладают гласные высококвалифицированных вокалистов, звуки голоса которых отличаются большой *звонкостью, серебристостью, металлическим тембром*. А *глухие, заувазированные* звуки малоквалифицированных певцов или невокалистов имеют низкие коэффициенты помехоустойчивости.

¹ Мы отдаем себе отчет в том, что указанные гласные в известной мере отличались и от типичных речевых, хотя бы фактором длительности. Известно, что длительность гласных в речи составляет в среднем 150–250 мс (Бондарко, 1964; Тонцер, 1964), а по нашей просьбе испытуемые специально удлиняли звучание гласных до 3–4 с. Это удлинение речевых гласных было необходимо для того, чтобы обеспечить возможность их исследования методами вокала, т. е. стандартизовать условия исследования как вокальных, так и речевых гласных.

Таблица 1. Коэффициенты помехоустойчивости гласных профессиональных оперных певцов, студентов консерватории и невокалистов (гласный А на средних нотах диапазона голоса)

$$\left(\beta = 20 \cdot \lg \frac{U_{\text{ш}}}{U_c} \right)$$

Профессиональные оперные певцы			Студенты консерватории			Невокалисты		
испытываемый	тип голоса	β (дБ)	испытываемый	тип голоса	β (дБ)	испытываемый	тип голоса	β (дБ)
Л. О-и	Тенор	27	В. А-и	Тенор	26	В. И-и	Мужской	17
Г. З-и	»	26	В. П-и	»	18	Ю. Б-а	»	16
В. К-и	»	22	О. С-и	Баритон	23	В. Б-и	»	15
Н. К-и	Баритон	21	С. Т-и	»	23	П. П-и	»	19
Н. О-и	Бас	24	И. С-и	Бас	17	М. З-р	»	16
И. К-и	»	24	И. Б-и	М.-сопрано	22	Т. П-и	Женский	19
В. М-и	Сопрано	28	Н. К-и	»	21			
Среднее ...		24,6	Среднее		21,4	Среднее ...		17,0

Весьма важно, что при оценке степени полетности исследованных нами звуков на слух квалифицированными специалистами (вокальными педагогами) к числу наиболее полетных голосов были отнесены именно те, которые по нашим измерениям имеют наибольшие коэффициенты помехоустойчивости (Л. О-и, В. А-и, В. М-и и др.). Это дало нам право укрепиться в ранее высказанных предположениях, во-первых, о том, что полетность голоса определяется помехоустойчивостью гласных, а во-вторых, что избранный нами критерий (β) в достаточной мере точно и притом количественно отражает изучаемое свойство гласных.

Мы обнаружили известную зависимость коэффициента помехоустойчивости от типа гласной. Наибольший β характерен для гласных И, Э, наименьший – для У. Гласные О, А занимают в этом отношении промежуточное положение. Обнаружилось также, что увеличение высоты основного тона голоса приводит к некоторому

увеличению коэффициента помехоустойчивости гласных. Вследствие этого высокие женские голоса имеют несколько более высокий β , чем низкие мужские.

Роль высокой певческой форманты в обеспечении полетности и помехоустойчивости голоса певца

Анализ данных, приведенных в предыдущем разделе, наводит на мысль, что степень полетности и помехоустойчивости связана с качеством тембра голоса и, вероятнее всего, – со степенью выраженности высокой певческой форманты (ВПФ). Прежде всего, это, разумеется, следует из теоретических соображений, вытекающих из сопоставления спектров сигналов и помехи. Практически это подтверждается тем, что наиболее помехоустойчивыми являются звонкие, *яркие* голоса. Звонкость же, как нами показано (Морозов, 2002), определяется степенью выраженности высоких спектральных составляющих, в основном – уровнем ВПФ.

С целью дальнейшего изучения количественной зависимости степени помехоустойчивости гласных от относительного уровня ВПФ нами были проделаны опыты по сравнительному измерению помехоустойчивости нормальных вокальных гласных и тех же гласных с полностью отфильтрованной (полосовыми фильтрами) высокой певческой формантой. Для этих опытов были использованы гласные мастеров вокального искусства, содержащие в норме около 30–35% ВПФ (Г. Зобнин, гласная А, нота *mi*1, Н. Охотников, гласная У, нота *do*1).

Таблица 2. Изменение порогов восприятия вокальных гласных (U_c) в шуме ($U_{ш} = 500$ мВ) и коэффициентов помехоустойчивости ($\beta = 20 \lg U_{ш}/U_c$) при подавлении в спектре гласных высокой певческой форманты

Оператор	Нормальный гласный		Гласный без ВПФ	
	U_c (мВ)	β (дБ)	U_c (мВ)	β (дБ)
М. З.	33,3	23,5	82,1	15,5
Р. А.	27,7	25,1	100,0	13,9
С. А.	19,5	28,1	81,2	15,5
Г. А.	20,7	27,6	89,2	14,9
И. Л.	21,4	27,4	63,0	17,9
Л. Д.	28,1	25,0	70,0	17,0
Среднее	25,2	25,9	81,0	15,8

Результаты этих опытов, приведенные в табл. 2, говорят о том, что при подавлении ВПФ абсолютные пороги обнаружения гласного в шуме (U_c) существенно увеличиваются, а коэффициенты помехоустойчивости (β) соответственно падают (в среднем с 25,9 до 15,8 дБ). Любопытно, что абсолютный порог обнаружения в том же шуме изолированной высокой певческой форманты (отфильтрованной из тех же гласных) оказался равным 12,5 мВ, что соответствует коэффициенту помехоустойчивости $\beta = 32$ дБ. Таким образом, важная роль высокой певческой форманты в обеспечении хорошей помехоустойчивости звука голоса не вызывает сомнений.

Помехоустойчивость и полетность вокальных гласных как результат взаимодействия свойств сигнала, помехи и слуха

Известно, что маскирующее действие шума на тональный сигнал или близкий к нему узкополосный сигнал определяется в основном эффективным уровнем энергии спектральных составляющих шума, лежащих в критической полосе слуха для данного маскирующего тона (Fletcher, 1953; Скучик, 1959; Покровский, 1962; Чистович, 1964). В спектре шума, который служил в наших опытах помехой, эффективная энергия спектра в критической полосе слуха для тонов в области 2500 Гц

(что соответствует области ВПФ) примерно на 16 дБ меньше, чем в области 540 Гц, т.е. в области максимума огибающей спектра шума. Это, естественно, и приводит к меньшему эффекту маскировки компонентов сигнала, лежащих в области 2500 Гц, чем в области 540 Гц. Вследствие этого вокальные гласные, в которых в узкой полосе спектра около 2500 Гц сосредоточивается до 30% всей акустической энергии, выигрывают как в громкости и звонкости, так и в помехоустойчивости по сравнению с обычными гласными, доля спектральной энергии которых в указанной высокочастотной области (2500 Гц) составляет всего лишь 5–10%. Величину этого выигрыша можно с известной точностью определить и чисто расчетным путем, применяя известные в литературе методы расчета (Цвиккер, Фельдкеллер, 1971).

Необходимо учесть также, что вершина высокой певческой форманты располагается в области максимума слуховой чувствительности (2500 Гц), что в свою очередь также вносит существенный вклад в общий эффект помехоустойчивости, равно как и дает выигрыш в громкости на 10–15 дБ (величина выигрыша в громкости была определена экспериментально, см. Морозов, 2002, с.139–140).

Библиография:

- Аспелунд Д.Л. Развитие певца и его голоса. М.–Л., 1952.
- Бондарко Л.В. Некоторые количественные характеристики неоднородности русских ударных гласных // Вопросы фонетики. Л., 1964. С. 45–54.
- Зиндер Л.Р. Влияние темпа речи на образование отдельных звуков // Вопросы фонетики. Л., 1964. С. 3–27.
- Морозов В.П. Искусство резонансного пения. Основы резонансной теории и техники. М., 2002.

Морозов В.П., Барсов Ю.А. Акустико-физиологические и вокально-педагогические аспекты полетности певческого голоса // Материалы 2-й научной конференции по вопросам развития музыкального слуха и певческого голоса детей. М., 1965. С. 33–35.

Ольховский Е.Г. Предисловие // Пальмеджани Ф. Король баритонов. М.–Л., 1966. С. 5–25.

Покровский Н.Б. Расчет и измерение разборчивости речи. М., 1962.

Скучик Е. Основы акустики. М., 1959. Т.2.

Цвиккер Э., Федкеллер Р. Ухо как приемник информации. М., 1971.

Чистович Л.А. Психофизиологические характеристики слуха // Инженерная психология. М., 1964, С. 138–158.

Fletcher H. Speech and hearing in communication. New York, 1953. № 10. P. 461.

НОСУПЕНКО В.Н.

Воспринимаемое качество как инструмент психофизического исследования

Аннотация. В статье получает развитие психофизическая методология исследования восприятия предметов и событий естественной среды. На передний план выходит оценка составляющих воспринимаемого качества, которая затем сопоставляется с наблюдаемыми и измеряемыми характеристиками события, в отличие от классической психофизической парадигмы, где анализ начинается с построения «физической модели». Выполненные исследования опирались на идею системности в психологии; при этом особое внимание уделялось анализу коммуникативной функции психики. Экологическая направленность исследования подчеркивается применением понятия

события: изучается восприятие не вырванных из контекста объектов (стимулов), а событий, характеризующих фрагменты или эпизоды бытия человека.

Понятие о воспринимаемом качестве было введено нами в связи с попыткой применить психофизическую методологию к изучению восприятия сложных событий естественной среды человека (Носуленко, 1985, 1986, 1988, 1991, 2001, 2006, Nosulenko, Samoylenko, 2001). Речь идет о восприятии в ситуациях, приближенных к повседневной жизни людей, в отличие от искусственных ситуаций лабораторного эксперимента. Для таких ситуаций трудно построить физическую модель происходящих событий на основании исходно заданных и внешне измеряемых параметров. Возникает необходимость пересмотра экспериментальной парадигмы исследования. В центре внимания оказываются не отдельные характеристики восприятия, а их функциональный интеграл – **воспринимаемое качество** событий, которое определяет систему субъективно значимых свойств события, образующих ядро перцептивного образа. В воспринимаемом качестве отражаются одновременно свойства события как внешне-наблюдаемого явления, так и включенность в это событие самого субъекта (активного наблюдателя, слушателя и т.п.). Таким образом восприятие исследуется не в его обезличенном, вырванном из жизненного контекста виде, а как событие жизни человека, характеризующее фрагменты или эпизоды его бытия (Барабанщиков, 2002). Представление о воспринимаемом качестве предполагает анализ изучаемых феноменов в направлении от «сложного к простому». Однако принятие такой парадигмы ставит множество вопросов, касающихся методологии и самого предмета психофизического исследования.

В первую очередь, это относится к выполнению требования одновременного анализа двух реальностей: объектов внешней среды и

психического образа, возникающего в процессе восприятия этих объектов. Психофизикой ставится задача построения наиболее точной «физической модели» воспринимаемой реальности. Но ее решение не сводится к простому обращению к физическим справочникам и измерительным приборам. Анализируя проблему, Ю.М. Забродин отмечает, что выбранную физическую модель событий исследователь «соотносит с характеристиками психического образа, найденными с помощью психологической теории и психологического эксперимента. Однако делая это, психофизик иногда принимает физическую модель за реальность, за действительные события, происходящие в природе, и жестоко ошибается. Ведь сама физическая картина мира и природных событий тесно связана с уровнем развития физической науки» (Забродин, 1985, с. 7). С целью сокращения числа параметров, используемых при интерпретации результатов, экспериментатор вынужден использовать упрощенные физические описания объекта. А упрощая физическую модель, можно потерять значимые для человеческого восприятия качества и, тем самым, нарушить требование точного описания используемых в эксперименте стимулов (Носуленко, 1985, 1988).

Этот замкнутый круг обусловлен исходной психофизической парадигмой противопоставления субъекта и якобы независимого от него объекта. Как отмечает В.А. Барабанщиков, «абстрактно-результативное полагание субъекта и объекта восприятия становится основанием того, что знания, представления, установки самого исследователя невольно приписываются объекту восприятия и сопоставляются с чувственным содержанием изучаемого субъекта» (Барабанщиков, 2002, с. 70).

Именно на таком противопоставлении субъекта и объекта строится и экспериментальная парадигма традиционной психофизики. Она основана на допущении, что исследователь способен выделять, регистрировать и контролировать в эксперименте некоторые «физические» (акустические,

световые и т.п.) параметры объекта. В рамках подобного допущения исследователь формирует стимулы, априорно предполагая, что каждому стимулу соответствует определенная совокупность реакций испытуемого, и что возможно создать процедуры, позволяющие их «измерять».

Такая парадигма требует предварительного физического описания изучаемого объекта (построения «физической модели») и наличия исходной гипотезы о связи между параметрами этой модели и ответами испытуемого. Например, гипотезы о том, что повышение интенсивности звука будет приводить к увеличению ощущения «звук громкий». Однако даже в «стерильных» лабораторных условиях принятие такой гипотезы является теоретической абстракцией (громкость даже чистого тона зависит от его высоты, длительности и т.п.; она зависит от контекста, в котором осуществляется восприятие и от предшествующего сенсорного опыта испытуемого; она зависит от той значимости, которую для субъекта составляет в данном звуке именно громкость и от отношения субъекта к звукам вообще). Еще труднее сформировать такую гипотезу при изучении восприятия событий в естественной среде, в повседневной жизни людей. Такие события перманентно меняются, часто непредсказуемым образом. Их «физические модели» очень сложны, а предвидеть, какие из составляющих модели будут значимыми в изучаемой ситуации практически невозможно. Этим, в частности, объясняется тот факт, что до сих пор не существует технологий, позволяющих «измерять» характеристики объектов естественной среды (например, искажения в звучании музыкального инструмента) с той же точностью, на которую способен воспринимающий субъект.

Перспектива решения проблемы противопоставления субъекта и объекта видится, по мнению Барабанщикова, в обращении к объекту-ситуации, что позволяет рассмотреть весь спектр информационного наполнения восприятия, идущего от особенностей как среды, так и

индивида, взятых в их динамике. Эта перспектива заключается также в «возможности сблизить организацию процедур лабораторного исследования с реальными способами жизни и деятельности человека не только в физическом, но и в экологическом, социальном и культурном отношениях» (Барабанщиков, 2002, с. 71-72).

Наше представление о воспринимаемом качестве является в определенной степени психофизической интерпретацией этого положения (Носуленко, 2004, 2006). В актуальной картине воспринимаемого качества выявляется динамический «срез» объекта-ситуации, который показывает конкретную специфику взаимоотношений среды и индивида. Анализ воспринимаемого качества может проводиться как в направлении выявления актуальных характеристик происходящего события, так и по пути изучения истории становления системы воспринимаемого качества (прошлого опыта индивида) или ожидаемого индивидом будущего (характеристики целей субъекта, являющихся антиципацией «объекта-ситуации»).

Парадигма воспринимаемого качества коренным образом отличается от традиционной психофизической парадигмы. Отправной точкой для анализа становится «воспринимаемое качество» события как результат его восприятия субъектом, включенным в это событие. Содержание «воспринимаемого качества» является для исследователя основой, позволяющей определить пути «физического» анализа события и выделить параметры события, которые могут быть связаны с составляющими «воспринимаемого качества». При этом сам психофизический анализ, предполагающий поиск связи между субъективными характеристиками и характеристиками физического мира, не отвергается, а ведется в противоположном, по сравнению с традиционным подходом, направлении. В этом заключается один из главных выводов проведенного анализа. По мере усложнения событий среды соотношение между их «физической

моделью» и «перцептивной моделью» меняется: на передний план выходит оценка составляющих «воспринимаемого качества» событий, которая затем соотносится с их наблюдаемыми и измеряемыми характеристиками. Рассмотрим этот вывод подробнее.

Экспериментальная парадигма традиционной психофизики предполагает создание конкретного набора стимулов, физические параметры которых могут контролироваться во время эксперимента. Экспериментатор формирует такие стимулы стараясь, в целях обеспечения «чистоты эксперимента», максимально абстрагироваться от возможных влияний неучтенных факторов среды. При этом он создает, по возможности, «простые» стимулы, описываемые минимальным числом параметров. В результате испытуемому предъявляются стимулы, ничего не имеющие общего с событиями, происходящими в естественной среде. Исследование проводится на основании допущения о том, что каждому стимулу соответствует определенная реакция (или совокупность реакций) испытуемого, и что возможно создать процедуры, позволяющие «измерять» эту «субъективную» сторону. Ответы испытуемого анализируются как функция стимула, описывающая связь между «объективным» и «субъективным». Иначе говоря, анализ ведется в направлении от физического (измерение «объективного») к психическому (измерение «субъективного»).

Следует отметить особо, что характеристики стимулов, их предварительное физическое описание, необходимое в рамках такой экспериментальной парадигмы, формируются самим экспериментатором. Точно также экспериментатор определяет измеряемые параметры «субъективного», поскольку необходима исходная гипотеза о связи между параметрами физической модели и ответами испытуемого. Очевидно, что такой подход трудно применим для изучения восприятия событий естественной среды, в постоянно меняющихся ситуациях повседневной

жизни людей. Невозможно построить однозначную «физическую модель» этих событий и, тем более, предвидеть, какие из составляющих модели будут значимыми в той или иной изучаемой ситуации.

Экспериментальная парадигма воспринимаемого качества естественной среды отличается от традиционной психофизической парадигмы тем, что отправной точкой для анализа становится не физическая модель объекта, а восприятие субъекта, результатом которого является «воспринимаемое качество» события. В воспринимаемом качестве содержатся указания на то, какие элементы объективной реальности являются для субъекта значимыми для составления целостного представления о внешнем мире и для адекватного взаимодействия с ним. Таким образом оказывается возможным выявить ограниченное число «объективных» составляющих внешней среды, которые следует подвергнуть «физическому» анализу в первую очередь для того, чтобы выработать ограниченный набор гипотез об их связи с составляющими «воспринимаемого качества». В отличие от традиционной психофизической парадигмы, исследователь ищет соотношение между «объективно» измеренными «субъективными» характеристиками и доступными для наблюдения характеристиками физического мира. Т.е. «субъективное» и «объективное» не противопоставляются, а рассматриваются как различные проявления многообразных качеств человека, в том числе и психических (Абульханова, 1973; Рубинштейн, 1973). В воспринимаемом качестве некоторого события, которое имеет свои внешние наблюдаемые, «объективно» измеряемые стороны, также «объективно» проявляются и «субъективные» стороны этого события, поскольку субъект в него включен (Барабанщиков, 2002). Эти субъективные составляющие (составляющие воспринимаемого качества) могут быть обнаружены, измерены и проинтерпретированы с помощью научных методов, обеспечивающих «объективность» исследования. Цель

психофизического анализа заключается как раз в том, чтобы установить соответствие между событиями повседневной жизни людей и их воспринимаемым качеством. Экологическая валидность метода, позволяющего осуществлять оценку воспринимаемого качества, достигается в рамках перцептивно-коммуникативного подхода, согласно которому характеристики воспринимаемого качества проявляются в вербальных описаниях людей, включенных в события естественной среды. А эмпирическим референтом воспринимаемого качества являются «вербальные портреты» воспринимаемых событий, позволяющие количественно соотносить разные события и их компоненты, их предметные и операциональные особенности (Носуленко, 2001; Nosulenko, Samoylenko, 2001).

Новая исследовательская парадигма была применена для организации многочисленных эмпирических исследований, как в ситуациях лабораторного психофизического эксперимента и моделирования различных видов деятельности и общения, так и в ситуациях наблюдения за такой деятельностью в естественных условиях (Барабанищikov, Носуленко, 2004; Носуленко, 2004; Носуленко, Паризе, 2001, 2002; Nosulenko, Samoylenko, 1999; Nosulenko, Samoylenko, Welinski, 2003 и др.). Наиболее полно психофизическая парадигма «от сложного к простому» была реализована в исследовании восприятия городских шумов, в котором из анализа воспринимаемого качества были выявлены фрагменты акустического события, отличающиеся конкретными «субъективными» составляющими. Только после этого стало возможным физическое измерение характеристик обнаруженных фрагментов с целью выявления ответственных за формирование определенного перцептивного образа акустических параметров и построения соответствующих психофизических зависимостей (Geissner, Parizet, Nosulenko, 2006a, 2006b). Так, например, выявленные в эксперименте характеристики

воспринимаемого качества позволили определить целостные фрагменты акустического события (28 микроэпизодов), которые можно анализировать независимо и воспринимаемое качество которых можно сравнивать как воспринимаемое качество отдельных акустических микрособытий, характеризующихся ограниченным количеством субъективно значимых параметров. Тем самым создана основа для организации нового экспериментального исследования, в котором предъявляемыми испытуемым событиями будут эти, относительно «простые» составляющие исходного события, отличающиеся друг от друга степенью представленности определенного субъективного параметра. Физический анализ таких «простых» составляющих делает реалистичной задачу построения физической модели события, в которой будет установлен «объективный» параметр, поддающийся измерению (а значит, контролю или управлению в эксперименте) и определяющий соответствующий субъективный параметр.

Дальнейшая перспектива применения и развития предложенной исследовательской парадигмы видится в детальной проверке ее продуктивности при изучении перцептивных явлений в разнообразных ситуациях реальной деятельности и общения людей. Важная область исследования связана с межкультурным аспектом проблемы воспринимаемого качества. Необходимо учитывать языковые особенности разных культур в случае применения результатов, полученных в одной культуре, для прогнозирования воспринимаемого качества в другой культуре. Одно из направлений исследования касается сравнения воспринимаемого качества различных событий, которое формируется у людей, живущих в одной и той же социокультурной среде, но являющихся субъектами разных видов деятельности. Другое направление касается сопоставления характеристик воспринимаемого качества одних и тех же событий, формируемого у людей, живущих в разных социокультурных

средах. Ведь именно характер деятельности и социокультурный контекст определяют языковые особенности, способы вербального выражения субъективных представлений, мыслей, эмоций и т.п. в процессе общения.

Возникающие здесь вопросы связаны с необходимостью более глубокой проработки конкретных методов и процедур, обеспечивающих возможность измерения перцептивных феноменов в условиях естественной среды. Такая проработка требуется, прежде всего, в направлении адаптации метода к различным ситуациям деятельности и общения, а также определения границ их применимости. Использование вербального материала в качестве репрезентативных данных о характеристиках изучаемых феноменов с необходимостью требует интеграции и перекрестного использования разных методов. Хорошая перспектива представляется в связи с применением аппарата и методов многомерного анализа. Содержание воспринимаемого качества позволяет интерпретировать, например, оценочные шкалы, полученные методами многомерного шкалирования. Это было показано в работе Parizet, Amari, Nosulenko, Lorenzon (2005). Однако возможно и обратное направление исследования: выявление этими методами шкал и осей оценивания из результатов обработки вербальных данных. Предложенная процедура обработки позволяет их количественное сопоставление в рамках общего описания конкретных событий, а значит к таким вербальным данным может быть применен аппарат многомерного анализа.

Положение о том, что результаты анализа вербальных данных являются отправным пунктом для измерения субъективно значимых характеристик событий естественной среды предъявляет высокие требования не только к методам обработки текстового материала, но и ко всей совокупности процедур получения информации об изучаемых феноменах. Условием контроля валидности получаемых в исследовании вербализаций является обеспечение сбора и анализа внешне-наблюдаемых

данных о воспринимаемых событиях и характеристиках деятельности испытуемых. Что, в свою очередь, предъявляет особые требования к методам сбора, регистрации и анализа таких данных и интегрирования этих методов вместе с методами вербального анализа в единую систему обеспечения эмпирического исследования. Определенные решения этих вопросов видятся в применении парадигмы «экспериментальной реальности» и стратегии «обратной реконструкции», которая позволяет обращаться не ко всем данным, а только к той их части, которая необходима для решения конкретной исследовательской задачи (Лалу, Носуленко, 2005; Nosulenko, Samoylenko, Welinski, 2003).

Получение ответа на вопрос о том, **что** воспринимается человеком при его активном взаимодействии со средой, и **как** изучать воспринимаемое качество дает важную практическую перспективу. Очевидно, что этот подход может быть использован для оценки потребительского качества разнообразных товаров. При этом, могут, например, быть выявлены критерии предпочтения отдельных товаров или услуг на конкурентном рынке. Анализ воспринимаемого качества позволяет определить направления, в которых целесообразно производить изменения в товарах или услугах для привлечения конкретной группы потребителей. Другое направление анализа может быть связано с прогнозом изменений спроса на товар или услугу при изменении условий его использования (экономических, культурных, политических и т.д.). Еще одна задача анализа связывается с установлением взаимоотношений между разработчиком и пользователем одних и тех же объектов, товаров, услуг (выявление различий в формируемом у них воспринимаемом качестве), а также перевода с языка «перцептивной модели» (на которой основаны предпочтения пользователей) на язык «физической модели» (исходя из которой разработчик может изменять объект с целью лучшего удовлетворения ожиданий пользователя).

Введение представления о воспринимаемом качестве в понятийный аппарат психофизики имело целью также привлечь внимание и, в каком-то смысле, противодействовать распространяющимся в литературе упрощенным декларациям о воспринимаемом качестве как о некотором «фундаменте» для социального и экономического развития современного мира (Giordano, 2006). Действительно, требования к воспринимаемому потребителем качеству любых произведенных человеком товаров или услуг являются в настоящее время законом. Достаточно посмотреть последний действующий международный стандарт ИСО 9000:2000, в котором потребитель ставится в качестве исходного пункта системы управления качеством, а одной из регламентированных стандартом задач любого предприятия является «измерение» удовлетворенности потребителя. При этом удовлетворенность потребителя определяется как «восприятие потребителем той степени, в которой выполняются его запросы» (статья 3.1.4 стандарта, цитируется по Хилл, Сельф, Роше, 2004). К сожалению, во всех этих публикациях проблемы восприятия обсуждаются меньше всего, а предлагаемые методы измерения имеют мало общего с анализом перцептивных феноменов. В результате формируется представление о том, что достаточно продекларировать ориентацию на пользователя, провести несколько серий анкетирования и вопрос о современном уровне исследования будет решен. В действительности это далеко не так. Представление о воспринимаемом качестве имеет глубокий психологический смысл а принятие психофизической парадигмы воспринимаемого качества требует пересмотра многих принятых в настоящее время представлений об оценке человеком событий окружающей среды и о возможных способах ее анализа. Появляются трудности не только теоретического и методического плана, но и связанные с организацией работ по «измерению»

воспринимаемого качества (Лалу, Носуленко, 2005; Lahlou, Nosulenko, Samoylenko, 2002).

Нам представляется, что выход психофизики воспринимаемого качества в практическую сферу возможен на основе целостного представления о месте воспринимаемого качества в организации системы взаимодействия человек-среда. Ведь именно анализ воспринимаемого качества позволяет определить, что же является значимым для человека в той или иной ситуации, какое «качество» среды акцентируется при решении конкретной задачи, в какой степени представления разработчика о «качестве» создаваемых им объектов находят отражение в восприятии пользователя и наоборот.

Литература

Абульханова К. А. О субъекте психической деятельности. М.: Наука, 1973.

Барабанщиков В. А. Восприятие и событие. СПб.: Алетейя, 2002.

Барабанщиков В. А., Носуленко В. Н. Системность, восприятие, общение. М.: ИП РАН. 2004.

Забродин Ю. М. Некоторые методологические и теоретические проблемы развития психофизики // Психофизика дискретных и непрерывных задач. М.: Наука, 1985. С. 3-27.

Лалу С., Носуленко В. Н. "Экспериментальная реальность": системная парадигма изучения и конструирования расширенных сред // Идея системности в современной психологии. М.: ИПРАН. 2005. С. 433-468.

Носуленко В. Н. Психофизика сложного сигнала: проблемы и перспективы // Психологический журнал. 1985. Том 7, №2. С. 73-85

Носуленко В. Н. Системный подход в исследовании слухового восприятия // Психологический журнал. 1986. Том 8, №5. С. 26-36.

Носуленко В. Н. Психология слухового восприятия. М.: Наука, 1988.

Носуленко В. Н. «Экологизацию» психоакустического исследования: основные направления // Проблемы экологической психоакустики. Москва: ИПАН. 1991. С. 8-27.

Носуленко В. Н. Оценка воспринимаемого качества объектов и явлений окружающей среды. Материалы II Российской конференции по экологической психологии. М.: Психологический институт РАО, 2001. С.175-187.

Носуленко В. Н. Психофизика восприятия естественной среды: Дис. ... докт. психол. наук. М. ИП РАН, 2004.

Носуленко В. Н. Психофизика восприятия естественной среды: смена парадигмы экспериментального исследования // Эпистемология & Философия науки. 2006, Том VII, №1. С. 89-92.

Носуленко В. Н., Паризе Е. Свободная вербализация и оперативная методика: перспективы практического применения // Антология современной психологии конца XX века. Казань, 2001. С. 182-196.

Носуленко В. Н., Паризе Е. Особенности восприятия шума автомобилей с дизельным двигателем // Психологический журнал, 2002, №1, С. 93-100.

Рубинштейн С. Л. Проблемы общей психологии. М.: Наука, 1973.

Хилл Н., Сельф Б., Роше Г. Измерение удовлетворенности потребителя по стандарту ИСО 9000:2000. Москва: Издательский Дом «Технологии». 2004.

Geissner E., Parizet E., Nosulenko V. Perception of delivery truck noise // Euronoise 2006, Tampere, Finland, 2006a.

Geissner E., Parizet E., Nosulenko V. Perception du bruit d'un camion de livraison // Journal de physique, 2006b.

Giordano J.-L. L'approche qualité perçue. Paris: Editions d'Organisation. 2006.

Lahlou S., Nosulenko V., Samoylenko E. Un cadre méthodologique pour le design des environnements augmentés // Informations sur les Sciences Sociales. 2002. Vol. 41, N4. P. 471-530.

Nosulenko V., Samoylenko E. Evaluation de la qualité perçue des produits I.S.P. par verbalisations // Ergonomie et Télécommunications. Journée satellite du XXXIV Congrès de la SELF, Caen. 1999. P. 99-105.

Nosulenko, V., Samoylenko E. Evaluation de la qualité perçue des produits et services: approche interdisciplinaire // International Journal of Design and Innovation Research, 2001. Vol. 2, P. 35-60.

Nosulenko V., Samoylenko E., Welinski P. Hello Wall and Videomaton User Experience. Observation and Evaluation // Ambient Agoras: Dynamic Information Clouds in a Hybrid World. Ivrea: IST. 2003. P. 203-279.

Parizet E., Amari M., Nosulenko V., Lorenzon C Free verbalizations analysis of the perception of noise and vibration in car at idle // Abstract Book of ForumAcusticum 2005. Budapest, 2005. P. 128-133.

ПАХОМОВ А.П.

Идеи С. Стивенса и становление репрезентативной теории измерения

Одной из причин написания этой статьи является желание автора восполнить значительный, по его мнению, пробел в изложении проблематики измерений в психологии, который наблюдается в отечественной литературе (Крылов, 2000; Логвиненко, 1993; Пановян, 1983; Сидоренко, 1996).

Применение математики в естественных и гуманитарных науках можно рассматривать как примету современной науки. В действительности, что не очевидно, корректность применения

математического аппарата требует рассмотрения многих проблем, которые обычно опускаются. Для того, чтобы появилась возможность использовать математику в исследованиях другой науки, обычно, требуется, чтобы в них появились числа. Решением проблем вхождения чисел в науку занимается субобласть прикладной математики, которая непосредственно связана с “теориями измерения”.

Обычно числа впервые появляются при квантификации эмпирических концептов. Этот шаг очень важен для создания математических высказываний в науке, но при этом он очень мало обоснован соответствующими исследованиями. Этот шаг обычно называется *измерением*.

Как показал проведенный нами анализ соответствующих исследований, в настоящее время в психологических измерениях находят свое применение (или отражение) три теории измерений: репрезентативная, операциональная и классическая. Понимание наличия в психологии этих 3 теорий снимает многие проблемы осмысленности психологических измерений. Но ограниченный объем данной статьи позволяет рассмотреть только основные положения репрезентативной теории.

Появление измерений в психологии во всех случаях связано с психофизикой. Что касается репрезентативной теории измерения, то и в этом случае связь очевидна. Изложенный ниже материал, по мнению автора, иллюстрирует это положение.

Репрезентативная теория измерения получила в настоящее время наиболее широкое распространение. Изначально она была сформирована в работах Стивенса, Сьюнса (Stevens et al., 1938; Stevens, 1946, 1951; Suppes, 1951). В свою очередь авторы этих работ считают, что их теоретические позиции уходят корнями в идеи, разработанные в трудах Кембелла, Гельмгольца и Рассела (Campbell, 1928; Helmholtz, 1895; Russell, 1903). Суть

их теории заключается в том, что при проведении измерений числа используются для репрезентации эмпирических отношений между объектами. Наиболее ясно эта точка зрения может быть изложена так: «Фундаментальный тезис состоит в том, что измерение является (или должно являться) процессом приписывания чисел объектам таким способом, чтобы интересующие нас качественные эмпирические отношения между объектами оказались отраженными в числах как важные свойства самой числовой системы».

Сейчас постараемся изложить самые основные положения репрезентативной теории измерения в их традиционном виде.

Происхождение теории измерений может быть прослежено, по крайней мере, до работ Гельмгольца, относящихся к концу XIX века, в которых речь идет о формальной природе таких базисных физических атрибутов, как масса и длина. Гельмгольц определил, что эти атрибуты имеют одну и ту же внутренне присущую им математическую систему, которая включает в себя: положительные действительные числа (\mathbb{R}^+), возможность их сложения (+), их естественный порядок \geq . Эту систему можно обозначить как $(\mathbb{R}^+, \geq, +)$. Для случаев таких систем (или структур) можно наблюдать отношение естественного эмпирического упорядочивания на семействе объектов, где порядок на качественном уровне отражает степень или величину демонстрируемого объектом и подлежащего измерению атрибута. Можно также наблюдать существование естественной эмпирической операции \circ , которая соединяет два любых демонстрирующих данный атрибут объекта в некоторый композитный объект, который также демонстрирует данный атрибут.

Например, помещая два объекта x и y на одну и ту же чашку, мы конституируем операцию комбинирования и результат записывается как $x \circ y$. В абстрактной модели, т.е. когда речь идет о некотором абстрактном присоединении вообще, таким операциям комбинирования в работах Люса

и Наренса дается общее родовое название *конкатенация* (Luce, Narens, 1983). Если обозначить через X множество всех рассматриваемых объектов, включая все комбинации, которые могут быть сформированы при помощи операции \cdot , то тогда потенциальные наблюдения над рычажными весами позволяют получить математическую структуру. Эта структура называется *качественной* структурой, а возможная репрезентирующая структура $(\mathbb{R}^+, \geq, +)$ называется *числовой (репрезентирующей)* структурой.

Одна из причин изучения абстрактной природы таких измерений состоит в том, что к большому множеству атрибутов может быть применена одна и та же математическая система.

Гельмгольц сформулировал физически правдоподобные предположения о структуре: предположения о \succsim , \cdot и об их взаимодействии. Он показал, что когда эти предположения выполняются, то смысл измерения может быть следующим: существует математическое отображение φ , называемое *гомоморфизмом*, из X в положительные действительные числа такое, что для каждого x и y в X выполняется следующее: а. $x \succsim y$ тогда и только тогда, когда $\varphi(x) \geq \varphi(y)$; б. $\varphi(x \cdot y) = \varphi(x) + \varphi(y)$. Обычно говорят, что при использовании отображения φ отношение упорядочивания \succsim отображается в \geq , а качественная операция \circ отображается в $+$. Такие гомоморфизмы X в $(\mathbb{R}^+, \geq, +)$ называются *аддитивными репрезентациями*, т.е. репрезентациями с выполнением предположения б. Не менее важно, что Гельмгольц, рассматривая проблему меры в репрезентации, показал, что измерение будет единственным, стоит только выбрать единицу измерения. Более современный вариант обобщения этого высказывания выглядит так: множество всех таких гомоморфизмов формирует шкалу отношений. Такое полное описание единственности репрезентации называется *теоремой единственности*.

В 1901 году была опубликована работа математика Холдера (Holder, 1901) с изложением варианта теории измерений. В дополнении к аксиоме Архимеда Холдер предположил, что $X = \langle X, >, o \rangle$ должна обладать пятью другим свойствам, практически совпадающим со следующими: 1. Слабое упорядочивание. 2. Монотонность. 3. Ограниченная разрешающая способность. 4. Позитивность. 5. Ассоциативность.

В XX в. аксиоматизация, предложенная Холдером, была усовершенствована и обобщена (Holder, 1901) .

После успешной аксиоматизации экстенсивных структур и определения их важности для оснований физики в 20-х и 30-х годах XX столетия развернулась любопытная дискуссия о том, что еще является измеряемым. Некоторые философы от физики, особенно Кемпбелл (Campbell, 1928), Бриджмен (Bridgman, 1931), а позднее Эллис (Ellis, 1966) изложили свою позицию, согласно которой измерение принципиально и с необходимостью имеет экстенсивный характер.

В это же время психологи и экономисты пытались найти другой подход к измерению, при котором можно было бы до некоторой степени избежать влияния авторитетного предписания о том, что фундаментальное измерение опирается на ассоциативные, монотонные операции комбинирования. Дебаты достигли своего интеллектуального апогея с появлением в 1940 г. отчета комиссии «Британской ассоциации за прогресс в науке», в котором для психологии большинство фундаментальных измерений объявляется невозможными из-за того, что не может быть найдено соответствующих эмпирических операций.

Дебаты в специальной комиссии в значительной степени спровоцировала работа Стивенса по измерению громкости, проведенная совместно с Дэвисом в 1938 году (Stevens, Davis, 1938). Сам Стивенс рассматривал проблему измерения и ранее, участвуя в дискуссиях вместе с такими выдающимися философами и представителями естественных наук,

как Г.Д. Биркхоф, Р. Карнап, Х. Файгль, К.Г. Хемпель, Г. Бергман. В этих дискуссиях и сформировалась широко известная в настоящее время позиция Стивенса, согласно которой ключевым качеством измерения являются не только частные свойства эмпирической структуры и ее репрезентации, но и степень единственности репрезентации, что находит свое отражение в группе допустимых трансформаций, которые переводят одну репрезентацию в другую. Стивенс, противопоставляя свою точку зрения точке зрения Кемпбелла, заявил, что важным качеством репрезентации является природа трансформаций, переводящих одну репрезентацию в другую, а не отдельные детали некоторой аксиоматизации.

В своих работах (Stevens, 1946, 1951) Стивенс выделил 4 группы релевантных измерению трансформаций на действительных или положительных действительных числах: преобразование "один-в-один", строго монотонно возрастающая трансформация, аффинное преобразование, преобразование сходства. И он ввел соответствующие термины "номинальное", "ординальное", "интервальное" и "отношений" для того, чтобы отнести их к семействам гомоморфизмов, или шкал, связанных при помощи этих групп трансформаций. Потом он добавил пятую, степенную группу ($x \mapsto sx^r$, $s > 0$, $r > 0$), применимую только к измерению в положительных действительных числах, и он назвал соответствующую шкалу *лог-интервальной*. Позже, в 1959 г. (Stevens, 1959), он сказал об этой шкале, что "она, очевидно, никогда не будет использоваться", и это, как можно показать, отражает общее неправильное понимание проблем классической физики, т.к. на самом деле там очень часто оперируют лог-интервальными шкалами, которые конвенционально рассматриваются как шкалы отношений, когда выбирают специфические показатели степени.

Хотя эти группы трансформаций играют важную роль в геометрии и физике и дают большее понимание структур измерений, Стивенс все же не привел аргументов, почему должны иметь место именно эти, а не другие группы трансформаций. Таким образом, его подход был скорее дескриптивным, чем аналитическим. Начиная с 50-х годов, становилось ясно, что существуют структуры измерения, которые не подходят к этой схеме, и значительный прогресс в понимании этого вопроса наметился только к середине 80-х годов XX века.

Охарактеризовав шкалы при помощи используемого типа трансформации, Стивенс подчеркивал, что научные предположения (а он особенно заботился о теоремах в статистике), сформулированные в терминах измеряемых величин, должны учитывать инвариантность значений при осуществлении допустимых трансформаций, характеризующих тип шкалы. Как показано, этот концепт осмысленности является обобщением предположения из размерного анализа, согласно которому физические законы должны быть размерно инвариантны при изменении единиц измерения. (Полное понимание концепта осмысленного научного предположения остается недоступным и по сей день, и эта важнейшая проблема теории измерений в данной статье не рассматривается. До сих пор не ясно, каковы условия, для которых инвариантность при допустимых преобразованиях является адекватным критерием осмысленности, и не известно, какие еще критерии, если не этот, могут быть использованы).

Другим направлением интересов Стивенса была формирование такой эмпирической процедуры получения субъективных шкал в психофизике, которая не включала бы в себя операцию конкатенации. Разработанный им с этих позиций метод, который получил у него название "оценка величины", имеет довольно широкое распространение и дает вполне стабильные результаты, хотя его использование на практике

сопровождается значительными проблемами. Кроме того, представляется очень трудным найти аргументы в пользу предположения Стивенса о том, что метод “оценки величины” на самом деле должен приводить к шкале отношений. Хотя Стивенс более чем кто-либо показал большее значение типа шкалы по сравнению со значением частных структур, определяющих качества шкалы, он, видимо, несколько скептически относился к теоретичности концепта «тип шкалы», и к тому, что этот концепт может быть точно сформулирован в терминах аксиоматической модели эмпирического процесса. При этом Стивенс не сумел признать, что требуется нечто большее, чем интуиция, для того, чтобы показать, что процесс измерения через “оценку величины” порождает шкалу отношений.

На протяжении 20 лет, начиная с 1940 г., многие исследователи работали над альтернативной аксиоматизацией измерения, которая согласовывалась бы с точкой зрения Стивенса на суть измерения лучше, чем с точкой зрения комиссии британских физиков и философов. Некоторые из этих направлений исследований оказали большое влияние на развитие теории измерения.

Во-первых, опираясь на результаты работы (Holder, 1901), было аксиоматизировано измерение различий. В этом случае рассматривается упорядочивание пар элементов, а репрезентация является различиями в числах или абсолютными величинами различий (Krantz, Luce, Suppes, Tversky, 1971). Т.к. типы этих структур описаны при помощи отрезков линии, определенных их конечными точками, то ясно, что эти структуры могут быть легко редуцированы к экстенсивному измерению, и потому они не рассматривались как существенный отход от высказывания о том, что фундаментальное измерение является эквивалентом экстенсивного измерения.

Во-вторых, исследовались структуры с операцией, монотонной по отношению к упорядочиванию, но которая ни позитивна, ни ассоциативна.

Третьей альтернативой, концептуально близкой второй, но абсолютно отличающейся в деталях, была одной из самых ранних попыток аксиоматизации ожидаемой полезности, предложенных в работе фон Неймана и Моргенштерна (1970). В середине 50-х годов были разработаны чисто качественные теории, из которых наиболее известна теория, предложенная в работе (Stevens, 1959). Практически все изложенные в литературе по этой проблеме идеи ведут к репрезентациям при помощи интервальных шкал некоторого вида усредненных полезностей.

Библиографии:

Крылов В.Ю. Методологические и теоретические проблемы математической психологии. М.: «Янус-К», 2000.

Логвиненко А.Д. Измерения в психологии: математические основы. М.: МГУ, 1993.

Нейман Дж., Моргенштерн О. Теория игр и экономическое поведение. М., 1970.

Павовян С.С. Математические методы в социальной психологии. М., 1983.

Сидоренко Е.В. Методы математической обработки в психологии. СПб., 1996.

Bridgman P.W. Dimensional analysis. New Haven: Yale University Press, 1922. 1931.

Campbell N.R. An account of the principles of measurement and calculation. London: Longsman, Green. 1928.

Ellis B. Basic concepts of measurement. London: Cambridge University Press. 1966.

Helmholtz H.V. Zahlen und Messen erkenntnis-theoretische betrachtet. Philosophische Aufsatz Eduard Zeller gewidmet. Leipzigg, 1887. Reprinted in

Gessammelte Abhandl. Vol. 3. P. 356-391. 1895. English translation by C. L. Bryan, Counting and measureing. Princeton, N.J.: van Nostrand, 1930.

Krantz D.H., Luce R.D., Suppes P., Tversy A. Foundation of measurement (Vol. 1). New York: Academic Press. 1971.

Luce R.D., Narens I. Symmetry, scale types and generalizations of classical physical measurement // Journal of mathemetical psychology. 27, 1983. P. 44-85.

Russel B. The principles of mathematics. London: Cambridge University Press. 1903.

Stevens S.S., Davis H. Hearing: its psychology and physiology. New York: Wiley. 1938.

Stevens S.S. On the theory of scales of measurements // Science, 103, 677-6680. 1946.

Stevens S.S. Mathematics, measurement and psychophysics. Handbook of experimental psychology. New York: Wiley. 1951. P. 1-49.

Stevens S.S. Mesurements, psychophysics and utility // Measurement: Definitions and theories / Eds. C.W. Churcman, P. Ratoosh. New York: Wiley. 1959. P. 18-63.

Suppes P. A set of independent axioms for extensive quantities // Portugaliae Mathematica, 10, 1951. P. 163-172.

САВЧЕНКО Т.Н.

**Метод латентно-структурного анализа: возможности
применения и ограничения**

Аннотация: описывается модель метода латентных классов, в которой по матрице ответов испытуемых множество испытуемых структурируется по близости (похожести) профилей из ответов. В

основе метода лежит формула Байеса. Вводится априорная плотность распределения параметров и вычисляется по формуле Байеса с учетом экспериментальных данных их апостериорная плотность вероятности. Определяются для априорно заданного числа классов истинное число испытуемых в классах и истинный параметр, определяющий вероятность определенного ответа (паттерна).

В последнее время появляется много работ, основанных на экологическом подходе. Т.е. достаточно распространены исследования поведения реального наблюдателя. Одно из ведущих направлений – исследование психофизических закономерностей восприятия сложных объектов (естественных звуков, географических ландшафтов, индивидуально-психологических особенностей людей).

При анализе восприятия различных стимулов, индивидуально-психологических особенностей человека, для выделения паттернов воспринимаемых стимулов помимо традиционно используемых методов многомерного шкалирования возникает необходимость использовать методы классификации. (Барабанщиков, Носуленко, 2004).

В последнее время наиболее используемый метод классификации – это метод *к-средних*. Этот метод обладает несомненными преимуществами, но существует ряд важных недостатков: используется только евклидова метрика при пересчете центров классов при объединении, плохая сходимость искажает классификацию, применим только для переменных к шкале интервалов и отношений.

Методы многомерного анализа относятся к методам с латентными переменными. Это - *конфирматорный* и *эксплораторные* факторные анализы, *регрессионный анализ*, *однофакторный анализ*, *методы латентных структур*. В (Благуш, 1989) описана обобщающая модель латентных структур Мак Дональда, частными случаями которой являются

и модели линейного факторного эксплаторного и конфирматорного анализов, нелинейного факторного анализа, модель латентных классов, латентно-структурного анализа и др.

Цель создания моделей с латентными переменными состоит в объяснении наблюдаемых переменных и взаимосвязей между ними с помощью латентных переменных. При заданном значении наблюдаемых переменных требуется сконструировать множество латентных переменных и подходящую функцию, которая достаточно хорошо аппроксимировала бы наблюдаемые переменные, а в конечном счете плотность вероятности наблюдаемой переменной.

В факторном анализе основной акцент делается на моделирование значений наблюдаемых переменных, из корреляций, ковариаций, а в методах латентно структурного анализа – моделирование распределения вероятности наблюдаемых переменных.

В данной работе описывается метод латентных классов, который можно использовать для дихотомических переменных и порядковых шкал.

Наблюдаемые переменные могут быть измерены в дихотомической шкале наименований, т.е. являются переменными (0,1) ($x_1 = 1$ – наличие признака и $x_1 = 0$ – отсутствие признака). Тогда наблюдаемые вероятности могут быть объяснены с помощью латентных переменных, т.е. с помощью латентных распределений и соответствующих условных распределений. (Лазарфельд, , 1966)

Объясняющее уравнения 1-го рода имеет вид:

$$p_i = \int_{-\infty}^{+\infty} h_i(x_i | \varphi) g(\varphi) d\varphi$$

Наблюдаемые переменные - x_i , плотность вероятности наблюдаемых переменных - p_i ; множество латентных переменных - φ , плотность вероятности латентных переменных - $g(\varphi)$

Объясняющее уравнение n -го порядка имеет вид:

$$\rho_x = \int_{-\infty}^{\infty} h_1(x_1 | \varphi) h_2(x_2 | \varphi) \dots h_n(x_n | \varphi) g(\varphi) d\varphi$$

Основным предположением всех моделей латентных структур является локальная независимость. Это следует понимать так: для данной латентной характеристики наблюдаемых переменные независимы в смысле теории вероятностей. Аксиома локальной независимости имеет вид:

$$h(\bar{x} | \varphi) = \prod_{i=1}^n h_i(x_i | \varphi) \quad \bar{x} = (x_1, \dots, x_n)$$

Условная вероятность $h_j(x_j | \varphi)$ называется операционной характеристикой вопроса; т.е. – вероятность получения правильной оценки того, что наблюдается признак j имеет место, если его латентная характеристика известна.

Если φ – непрерывная, то операционная характеристика называется характеристикой кривой, или следом.

По дискретности или непрерывности и по виду характеристической кривой различают следующие модели:

Модели латентных групп, в которых предполагается, что латентная характеристика дискретная, и требуется объяснить наблюдаемые вероятности на основе принадлежности элементов в генеральной совокупности к m группам.

Латентную вероятность r -й группы можно обозначить через θ_r . Операционную характеристику обозначим через $h_1(\varphi_r) = h_1(x_1 | \varphi_r)$

Модель латентных профилей (4) – обобщение модели латентных групп в том смысле, что наблюдаемые переменные считаются непрерывными.

В линейной модели (1) и других моделях латентная характеристика – одномерная переменная. Модель латентных расстояний имеет в качестве характерной кривой функцию скачка (2). Модель латентной огивы (3) – характеристическая функция – функция нормального распределения. В данной работе предлагается одна из моделей латентных групп (дискретная латентная характеристика). На основе модели Роста реализован метод латентно структурного анализа или модель латентных классов для нормального распределения данных (4) (рис.1).

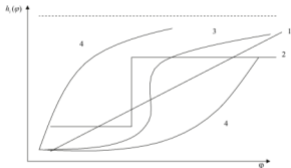


Рис.1 Характеристические кривые

$h_i(\varphi_p)$ - операционная характеристика вопроса, φ – множество латентных переменных.

Таким образом, решается следующая задача: по матрице ответов испытуемых на вопросы какого – либо теста необходимо структурировать множество испытуемых по близости (похожести) профилей из ответов.

Для этой цели первоначально задаются произвольно два параметра, которые являются скрытыми – латентными, т.к. истинное их значение предстоит определить в процессе работы метода. Это:

- относительно число испытуемых в классе (мы задавали его первоначально $P(k) = 1/k$
- характеристический параметр класса $\pi(i, k)$ – матрица, определяющая вероятность определенного ответа на i -й вопрос, если испытуемый относится к k -му классу.

Он должен быть различным для разных классов. Мы задавали его и одинаковым для испытуемых, принадлежащих одному классу и различным для каждого класса. Предполагается, что условная вероятность индивида дать ответ категории q на j вопрос постоянна для всех индивидов, принадлежащих классу k . И вероятность появления ответа категории $q(1,2,...Q)$ равна вероятности q , являющейся суммой реализаций дихотомической случайной переменной.

В конце работы метода определяются для априорно заданного числа классов истинное относительное число испытуемых в классах и истинный параметр, определяющий вероятность определенного ответа на i -й вопрос, если испытуемый относится к k -му классу, который представляет профили, характеризующие именно данную группу испытуемых (Савченко, 1995).

Вычислялся также наиболее вероятный профиль ответов испытуемых, принадлежащих к данному классу.

Структура данных включает:

1. Матрицу профилей ответов.

2. Матрицу априорных вероятностей: вероятности определенного ответа на i -тый вопрос при условии, что испытуемый относится к k -тому классу.
3. Относительное число испытуемых в классе.

В основе модели лежит формула Байеса, которая связывает априорную вероятность с апостериорной.

Общая методология сводится к введению априорной плотности распределения параметров и последующему нахождению по формуле Байеса с учетом экспериментальных данных их апостериорной плотности распределения.

Априорные распределения могут задаваться стандартным способом (априорная вероятность берется пропорциональной числу классов); исходя из профессиональных соображений, т.е. априорно задаются две латентные характеристики:

- 1) количество латентных классов (k) и соответствующее им относительное число испытуемых в классе $P(k)$;
- 2) параметр, определяющий вероятность определенного ответа на i -ый вопрос при условии, что испытуемый относится к k -тому классу $r_i(k)$.

Вероятность появления i -го паттерна профиля :

$$P_i = \sum_{k=1}^K P(k) r_i(k)$$

А затем по формуле Байеса вычисляется апостериорная вероятность:

$$P(k | i) = \frac{P(k) r_i(k)}{P(i)}$$

Алгоритм метода латентных групп:

- задаем количество латентных классов K ;
- задаем количество вопросов M ;
- задаем количество возможных категорий ответов Q .

Например,

1) да, не знаю, нет

0 1 2 Q=2

2) да скорее да не знаю скорее нет нет

0 1 2 3 4 Q=4

задаем (вводим) количество испытуемых

задаем начальное распределение

$P(k)$ – относительное число испытуемых, которые входят в класс

Например $P(k) = 1/k$;

- задаем начальные значения характеристик параметров классов $\pi(i,k)$; $k = 1, \dots, K$; $i = 1, \dots, M$, где $\pi(i,k)$ – параметр, определяющий вероятность определенного ответа на i -тый вопрос, если испытуемый относится к k -му классу;

- вводим X_{ij} – ответ i -го испытуемого на j -й вопрос

$i = 1, \dots, N$; $j = 1, \dots, M$. После чего:

- определяем множество различных паттернов ответов

\vec{a}_i , где $x_{ij} = a_{ij}$, a_{ij} – ответ на j -й вопрос;

- считаем количество таких паттернов

$n(i)$, $i = 1, \dots, L$; $n(\vec{a}_i)$.

Вычисляем вероятность появления паттерна \vec{a}_i при условии, что он генерируется испытуемым, относящимся к k -му классу

$$\rho_k(\vec{a}_i) = \prod_{j=1}^M \left(\frac{Q!}{a_{ij}(Q-a_{ij})!} r^{a_{ij}}(j,k) (1-r(j,k))^{Q-a_{ij}} \right)$$

Вычисляем вероятность появления такого паттерна

$$\rho(\vec{a}_i) = \sum_{k=1}^K \rho_k(\vec{a}_i) P(k)$$

Вычисляем апостериорную вероятность того, что испытуемый относится к классу k , если он ответил \bar{a}_i

$$\rho_{k(i)} = \frac{\rho_k(\bar{a}_i)}{\rho(\bar{a}_i)}$$

Вычисляем математическое ожидание количества паттернов у испытуемых класса k

$$E(\bar{a}_i, k) = n(\bar{a}_i) \rho_{k_i}(k)$$

Считаем оценку относительного числа испытуемых относящихся к классу k

$$\hat{P}(k) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N E(\bar{a}_i, k)$$

Вычисляем математическое ожидание количества паттернов, в которых ответ на j -й вопрос есть $x \in \{0, 1, \dots, Q\}$, при условии, что отвечающие относятся к классу k

$$E_x(j, k) = \sum_{i=1}^N \frac{E(\bar{a}_i, k)}{P(k)} ; x = 0, 1, \dots, Q$$

Вычисляем оценку параметров

$$\hat{r}(j, k) = \frac{1}{N} \frac{1}{Q} \sum_{x=0}^Q x E_x(j, k)$$

Если

$$\max_{j,k} |\hat{r}(j, k) - r(j, k)| \leq \delta,$$

то мы получаем интересующие нас параметры классов т.е.

$$\hat{P}, \hat{r}(i, k) u \rho_{k_i}(k)$$

в противном случае все повторяется.

Так же нами были разработаны 4 варианта оценки кластерных разбиений.

Есть множество испытуемых X

$\|X\|=N$ – мощность множества X равна N , т.е. N – испытуемых.

В результате LSA мы получаем для каждого из K классов и N испытуемых P_{ik}^i – вероятность для i -го испытуемого принадлежать к-тому классу.

Определяя $\max P_i$, мы относим испытуемого i к классу, к которому он принадлежит с максимальной вероятностью.

Разбивая множество X на классы указанным выше образом, получим:

X^k – множество испытуемых, попавших в k -ый класс;

$\|X^k\|$ – количество испытуемых, попавших в k -ый класс.

Можно предложить следующие оценки разбиений: средняя «четкость» кластеров, наименьшая «четкость» кластеров, интегральная «четкость» кластеров, связность кластеров.

Аналогично методу иерархической кластеризации, наиболее верно отражающей реальную структуру, оказалась оценка, названная нами – связность кластеров.

$$\pi_{\omega} = \frac{2(\sum_{i \in \omega} \rho_i' + \sum_{j \in \omega} \rho_j'')}{\|X^{\omega}\| \sum_{i \in \omega} \rho_i' + \|X^{\omega}\| \sum_{j \in \omega} \rho_j''}, \quad L_4 = \sum_{\omega=1}^K \max_{\omega} \pi_{\omega}$$

Т.е. рассматриваются два класса. Их параметры – относительное число испытуемых в классе, вероятность для i -го испытуемого принадлежать к-му классу.

Из двух вероятностей выбирается большая, что определяет класс, к которому «принадлежит» испытуемый (реально испытуемых может не принадлежать ни к одному из классов). Если при этом в одном из анализируемых классов не оказалось ни одного испытуемого, то суммарная вероятность по этому классу равна нулю.

Вызывает несомненный интерес, тот факт, что именно «связность» работает в обоих методах, разработанных в лаборатории математической психологии – данном методе латентных классов и методе иерархической кластеризации.

В кластерном анализе это можно было оценить и визуально, изучая картинку дерева. В ЛСА это можно заметить следующим образом: до данного количества кластеров (определяемых этой оценкой) профили классов существенно отличаются друг от друга. А далее лишь незначительное отличие.

Данный метод позволяет выделить наиболее типичные паттерны восприятия стимулов и проанализировать их профили. Основан метод на вероятностном подходе, поэтому является более универсальным, по сравнению с другими методами кластерного анализа.

Предложенный метод был апробирован нами на задачах: адаптации теста компьютерной боязни и для анализа и проверки методики профилей профессии, для построения типологии восприятия рекламных роликов.

Предполагаемый метод имеет ряд преимуществ при адаптации и конструировании опросников по сравнению с другими методами многомерного анализа, традиционно используемыми:

- позволяет получить разбиение множества испытуемых на классы с построением интегрального профиля класса;
- возможность выяснить однородность множества испытуемых;
- возможность более детального анализа отнесения вопросов теста в

предполагаемую группу по результатам тестирования и сравнение с моделью теста;

-возможность детального анализа структуры теста с целью ее изменения в соответствии с новой выборкой и д.р.

Библиографии:

Барабанщиков В.А., Носуленко В.Н. Системность. Восприятие. Общение. М.: Институт психологии РАН, 2004.

П.Благуш Факторный анализ в обобщении. М.: Финансы и статистика, 1989.

Головина Г.М., В.Ю.Крылов, Т.Н.Савченко Математические методы в современной психологии: статус, разработка, применение, М., 1995.

Лазарфельд П. Логические и математические основания латентно-структурного анализа // Математические методы в современной буржуазной социологии, М.: «Прогресс», 1996.

СКОТНИКОВА И.Г.

Субъектный подход в психофизике и исследование уверенности в решении пороговых задач как одно из его направлений

Аннотация. Представлены основные положения субъектно-ориентированного подхода в психофизике. Среди изучаемых в этом контексте «переменных субъекта» как факторов сенсорных измерений здесь специально рассматриваются типичные для задач порогового типа переживания уверенности – сомнительности как один из типичнейших индивидуальных механизмов вынесения решений и их самоконтроля. Кратко отражены материалы теоретического и экспериментального

изучения уверенности в соотношении со степенью правильности и скорости сенсорного различения.

Традиционный предмет психофизики – это выявление базовых количественных закономерностей сенсорного процесса на основе предъявления строго контролируемой внешней сенсорной и несенсорной информации. Поныне это остается ведущим направлением психофизических работ за рубежом и фундаментально развивается в российской науке в школе Е.Н. Соколова (1995, 2003) на новом системном уровне – при исследовании и моделировании субъективных сенсорно-перцептивных и семантических пространств в непосредственной взаимосвязи с изучением психофизиологических механизмов соответствующих процессов, в Институте проблем передачи информации РАН, в лаборатории психологии восприятия факультета психологии МГУ, в Институте физиологии РАН. Вместе с тем практика сенсорных измерений выявила существенное влияние на получаемые результаты «переменных субъекта», всегда включенных в эти измерения. Развивается линия исследования поведения в них реального, а не только идеального наблюдателя, что характеризует интенцию к экологизации психофизических исследований. За рубежом это выражается в активизации изучения внимания, уверенности и индивидуальных особенностей наблюдателя в сенсорном исполнении, судя по материалам журнала «Perception & Psychophysics» и ежегодных конференций Международного Общества по психофизике за последнее десятилетие.

В отечественной науке систематически изучается роль собственной активности наблюдателя в сенсорных измерениях, в развитие деятельностных теоретико-методологических традиций российской психологии. В 40-х-60-х гг. это исследования влияния произвольной регуляции человеком своей сенсорно-перцептивной деятельности на

пороги чувствительности (т.е. с позиций классической психофизики): в школах Б.Г. Ананьева, Б.М. Теплова, С.В. Крайкова, А.В. Запорожца (см. обзор Чуприковой, 1980); в 70-х – 80-х гг. – на составляющие порога – сенсорную чувствительность и процессы решения (т.е. с позиций современной психофизики) с включением в анализ свойств индивидуальности: в школах Ю.М. Забродина, К.В. Бардина, М.Б. Михалевской, Н.Н. Корж, Ю.А. Индлина. В таком контексте предмет психофизики был переформулирован как изучение решения человеком сенсорных задач (Асмолов, Михалевская, 1974; Забродин, 1977).

Соотношение данного направления с традиционным определил К.В. Бардин (1988), введя терминологическую оппозицию двух взаимодополняемых исследовательских парадигм этой дисциплины как объектно- и субъектно-ориентированной. Субъектный подход в психофизике вводит ее количественный анализ в контекст качественного изучения *внутренней психологической* детерминации результатов сенсорных измерений собственной активностью и индивидуальностью субъекта, что стало одним из фактологических субъектного подхода в психологии, разработанного А.В. Брушлинским (2004) в развитие работ прежде всего С.Л. Рубинштейна и К.А. Абульхановой.

Идеи, близкие к субъектной психофизике, в последние годы обоснованы в новых направлениях исследований - дифференциальной психофизике сенсорных задач (Гусев, 2002), психофизике восприятия естественной среды (Носуленко, 2006), психофизике сложного образа (Худяков, 2001).

Проведенный автором этой работы анализ более чем 30-летнего развития психофизических исследований в Институте психологии РАН (АН СССР) показал, что в значительной степени изучались различные проявления активности и индивидуальности субъекта в сенсорных задачах, что определяло многообразную динамику чувствительности и процессов

решения (Забродин и др.), операциональную структуру сенсорной деятельности (Бардин и др.), эффекты сенсорной памяти (Корж и др.) (см. Скотникова, 2002, в).

Автор данной работы теоретически систематизировала и структурировала изучавшиеся в этих и ее собственных исследованиях проявления такой активности, которые существенно влияли на получаемые психофизические показатели (Бардин, Скотникова, Фришман, 1991; Скотникова, 2002,а; 2003). Это сенсорная задача, которую принял и реально выполняет наблюдатель, операциональные средства ее решения (приема и переработки информации, принятия решения, вербального или моторного исполнения - как внутренние, так и имеющие внешние выраженные сенсомоторные компоненты), интер- и интраиндивидуальные механизмы выбора этих средств, оценки результатов и саморегуляции процесса решения (свойства личности и когнитивные стили человека, его функциональные состояния и рефлексивные переживания), психофизиологическое обеспечение сенсорной деятельности. Автор рассматривает эти психические образования как структурно-уровневые компоненты (мотивационно-целевые, индивидуально-психологические, когнитивно-инструментальные и психофизиологические) индивидуально-психологической сенсорной деятельности человека по решению сенсорной задачи. Таким образом, субъектный подход в психофизике объединяет традиционно разобщенные исследовательские парадигмы психологии: собственно психофизическую, процессуально-деятельностную, дифференциально-психологическую, психофизиологическую, изучение функциональных состояний и рефлексивных переживаний. Все перечисленные аспекты исследований позволила свести воедино категория субъекта, ведущие характеристики которой, проявившиеся в наших работах, – это системность и активность. Т.е. данный подход имеет междисциплинарное значение – он преодолевает сложившуюся

изолированность психофизики от других областей психологического знания. Это обогащает возможности и повышает эвристичность психофизических исследований за счет методической многомерности - комплексного использования методов из смежных дисциплин.

Представление о внутреннем содержании перцептивной активности как психической деятельности субъекта – это одна из ряда парадигм исследования такой активности (Барабанчиков, 2002). Логика использования и развития именно данной парадигмы в настоящей работе обусловлена ее истоками в богатейшей деятельностной традиции отечественной науки. К ней концептуально близки парадигмы исследования перцептивной активности как поведенческого акта с позиций теории функциональных систем и как процесса решения задачи путем переструктурирования объекта и верификации гипотез (при всех различиях в методических путях исследований). Ведь во всех трех случаях восприятие рассматривается как процесс решения субъектом перцептивной задачи, а в поведенческой и деятельностной парадигмах также в равной мере ключевое значение придается образу цели (акценту результатов действия). Парадигмы же изучения перцептивной активности как научения и как коммуникации – это иные продуктивно развивающиеся направления исследований, в том числе в психофизике.

Факты, позволившие автору выделить перечисленные выше компоненты индивидуальной сенсорной деятельности как факторы результатов психофизических измерений, установлены ею в ходе многолетних экспериментальных исследований порогового зрительного различения, и представлены более чем в ста публикациях (за исключением психофизиологических данных, полученных другими специалистами).

Здесь очертим кратко содержание недавнего цикла исследований такой интраиндивидуальной «переменной субъекта» как его рефлексивные

переживания уверенности-сомнительности, сопровождающие решение сенсорных задач (Скотникова, 1996, 2002, 2003, 2005).

В задачах порогового типа очень высока субъективная неопределенность, вызванная острым дефицитом входной информации. Поэтому для наблюдателя типичны субъективные переживания сомнительности принимаемых решений, что характерно также для большинства видов сложной практической деятельности. Естественно, что исследования механизмов принятия решения и уверенности в нем бурно развиваются в зарубежной науке, начиная с середины XX в. Изучаются два основных аспекта уверенности (Ув). а) Ув в себе как личностная характеристика (self-confidence) – принятие себя, своих действий, решений, навыков как уместных, правильных: исследуется на материале личностных опросников. б) Ув в правильности своих суждений (ситуативная уверенность – confidence): исследуется на материале опросников общей осведомленности (т.е. на когнитивном уровне знаний) и задач по сенсорному различению (т.е. на сенсорном уровне). Доминирующая за рубежом парадигма (развиваемая в России автором) – исследования реализма (калибровки) Ув, т.е. степени соответствия между Ув человека в правильности своих суждений и их объективной правильностью. Личностная Ув понимается как производная от ситуативной, обобщенная на всем опыте субъекта.

Теоретический анализ проблемы, проведенный автором, позволил предположить, что Ув в суждениях – системное психическое образование, выполняющее и когнитивную функцию (вероятностный прогноз правильности решений), и метакогнитивную (рефлексия своих знаний), и регулятивную (переживание и состояние, связанные с этими процессами и влияющие на латентность и результат решения: принятие той или иной гипотезы в зависимости от прогноза их правильности), и когнитивно-регулятивную (оценка правильности решения). В силу всех этих функций

Ув является существенной детерминантой как приема и переработки информации, так и принятия решения и его самоконтроля.

На материале зрительных временных интервалов изучались соотношения между тремя основными характеристиками решения наиболее распространенной в практике, но наименее изученной в психофизике задачи различения «одинаковые-разные (same-different)»: точности ответов, их скорости и Ув. Обнаружено, что ошибочные ответы медленнее верных. Это верифицирует применительно к пороговому различению «правило Свенссона», установленное для трудного опознавания и инструкции на точность ответов. (В отличие от этого, для легкого опознавания и инструкции на скорость ответов, ошибки быстрее верных ответов). Дифференцированный анализ пропорций уверенных и сомнительных ответов среди верных и ошибочных отдельно показал, что ошибочные ответы чаще бывают сомнительными, чем верные, что явилось общим феноменом для обеих типичных задач различения: «одинаковые-разные» («=», «≠») и «больше-меньше» («>», «<»). (Принятые же расчеты относительно общего массива ответов выявляли менее частую сомнительность ошибок.) Сомнительность ответов может служить внешним индикатором неотчетливости сенсорных впечатлений, замедляющей принятие решения. Чем больше время ошибочных ответов, тем адекватнее оценки Ув. В целом, чем больше время ответов, тем меньше их Ув. Эти данные проясняют психологическую природу ошибок человека в задачах порогового типа.

В зарубежной литературе ведется острая дискуссия между приверженцами классического феномена «недостаточной Ув» в сенсорном различении, в сравнении с его правильностью, и парадоксального эффекта «трудности – легкости» (недостаточной Ув в легком различении, и сверхуверенности – в трудном; обзор дают Baranski, Petrusic 1999). Нам в трудной пороговой задаче «=», «≠»-различения обнаружена

сверхуверенность, что согласуется со второй точкой зрения. Думается, что человек склонен недооценивать сложность трудных задач и потому переоценивать свою Ув в их решении, и наоборот – переоценивать сложность легких задач и оттого недооценивать свою Ув. Установленная автором сверхуверенность являлась следствием в шесть раз более узкой зоны сомнений и специфичности структуры этой зоны, в сравнении с задачей «>,<». По целому ряду показателей Ув хуже оценивалась человеком в задаче «=,≠». По-видимому, низкий реализм Ув в сторону высокой сверхуверенности связан с грубым, приблизительным характером «=,≠-различения, дающим более высокие пороги, в сравнении с более тонким и точным характером «>,<-различения, дающим на порядок меньшие пороги, что сопровождается также более точными оценками Ув.

Зарубежные исследования реализма Ув в настоящее время выходят на проблему межкультурных различий. Шведские авторы описывают недостаточную Ув как типичную для сенсорно-перцептивных суждений в отличие от когнитивных суждений более высокого уровня (об общей осведомленности), для которых типичен эффект трудности-легкости. Вместе с тем канадские, американские, австралийские и российские исследователи обнаружили этот эффект в сенсорном различении (обзоры дают Baranski, Petrusic 1999; Stankov, 1998; Скотникова, 2002, 2003, 2005). На основании этих данных канадские авторы предположили межкультурные различия в сенсорной Ув аналогично ряду данных для вероятностных прогнозов.

Эта гипотеза подтвердилась в сравнительном исследовании, проведенном И.Г. Скотниковой на российской и немецкой выборках для порогового различения временных интервалов. Обнаружена сверхуверенность в немецкой выборке, в среднем вдвое меньшая, чем в российской, но на порядок большая, чем известная для канадской выборки, в отличие от недостаточной Ув, характерной для шведских испытуемых.

Продолжение этого исследования Е.В. Головиной (2005) выявило большую сверхуверенность в общей осведомленности в российской выборке, в сравнении с немецкой, тогда как в сенсорном различении – примерно одинаковый уровень сверхуверенности. Это расхождение с данными Скотниковой, видимо, вызвано различием профессионального состава выборок.

Ув оказалась выше у импульсивных лиц, в сравнении с рефлексивными, что может объяснить большую поспешность и ошибочность импульсивных: принятие решения, доверяясь себе, без тщательного анализа информации. Этот результат также был подтвержден Головиной (2006).

За рубежом уже около полувека разрабатываются концептуально-математические модели, позволяющие наиболее компактно и наглядно формулировать рабочие гипотезы о внутренних механизмах Ув, их роли в структуре и динамике процессов решения. Для Ув в сенсорных суждениях - это два основных класса моделей: описывающие репрезентацию сенсорных стимулов в сигнальной либо в нейросетевой синантической форме.

Рассматривая процесс формирования Ув психологически с привлечением наиболее проработанных модельных представлений (Vickers et al., 1998, 2000; Usher et al., 1993, 2001), автор интерпретирует Ув как субъективное переживание баланса свидетельств в пользу сравниваемых альтернатив решения, либо числа колебаний альтернатив, что служит для человека индикатором того, какую альтернативу выбрать.

Математическая модель Ув в сенсорных суждениях с применением аппарата формальных нейронов разрабатывается В.М. Шендяниным (2006) с участием автора. Используются теория функциональных систем П.К. Анохина, теория Е.Н. Соколова о векторном кодировании внешних

сигналов в сенсорном пространстве, теория обнаружения сигнала, аккумуляторная теория принятия решения и Ув в нем Д. Векерса.

Рассмотрение Ув в функциональной системе выполнения сенсорной задачи раскрывает действие Ув как психологического механизма саморегуляции процесса решения и внутренней обратной связи, позволяющей корректировать последующие решения.

Библиография:

Асмолов А.Г., Михалева М.Б. От психофизики чистых ощущений к психофизике сенсорных задач // Проблемы и методы психофизики. М.: Изд-во МГУ, 1974. С.5-12.

В.А. Барабанщиков. Восприятие событий. СПб: Алетейя, 2002.

Бардин К.В., Скотникова И.Г., Фришман Е.З. Психофизика активного субъекта // Мышление и общение: активное взаимодействие с миром. Ред. Ю.К. Корнилов. Ярославль. Изд-во ЯрГУ. 1988. С.34-46.

Бардин К.В., Скотникова И.Г., Фришман Е.З. Субъектный подход в психофизике // Проблемы дифференциальной психофизики. Отв. ред. К.В.Бардин. М.: ИП АН СССР, 1991. С.4-17.

Брушлинский А.В. Психология субъекта. СПб.: Алетейя, 2003.

Головина Е.В. Структура уверенности и когнитивные стили. Дис. ... канд. психол. наук. М., 2006.

Гусев А.Н. Дифференциальная психофизика сенсорных задач. М.: Изд-во МГУ, 2004.

Забродин Ю.М., Лебедев А.Н. Психофизиология и психофизика. М.: Наука, 1977.

В.Н. Носуленко. Психофизика восприятия естественной среды: проблема оценки воспринимаемого качества. М.: Изд-во Института психологии РАН, 2006 (в печати).

Скотникова И.Г. Исследования уверенности-сомнительности в сенсорном различении // Ежегодник Российского Психологического Общества. Психология сегодня. М.: РПО, 1996. Т. 2. Вып. 3. С. 34-36.

Скотникова И.Г. Развитие субъектно-ориентированного подхода в психофизике // Психология индивидуального и группового субъекта / Под ред. А.В. Брушлинского. М.: ПЕР СЭ, 2002,а. С.220-269.

Скотникова И.Г. Проблема уверенности: история и современное состояние // Психологический журнал. 2002,б. Т. 23. №1. С. 52-60.

Скотникова И.Г. Развитие психофизики в Институте психологии РАН (АН СССР) // Современная психология: состояние и перспективы исследований / Под ред. А.Л. Журавлева. М.: Изд-во Института психологии РАН, 2002. Ч.2. С.20-34.

Скотникова И.Г. Субъектная психофизика: результаты исследований // Психологический журнал, 2003. Т. 24. №2. С. 121-131.

Скотникова И.Г. Экспериментальное исследование уверенности в решении сенсорных задач // Психологический журнал, 2005. Т. 26. №3. С. 84-99.

Соколов Е.Н. Принцип векторного кодирования в психофизиологии // Вестник Московского Университета. 1995. Сер.14. Психология. №4. С. 3-13.

Соколов Е.Н. Восприятие и условный рефлекс: новый взгляд. — М.: УМК "Психология"; Московский психолого-социальный институт, 2003.

Худяков А.И., Зароченцев К.Д. Психофизика обобщенного образа. Спб: Изд-во СПбГУ, 2000.

Чуприкова Н.И. Организация и механизмы произвольных познавательных процессов и двигательных актов человека // Вопросы психологии. 1980. N3. С.32-44.

В.М. Шендяпин. Baranski J.V., Petrusic W.M. Realism of confidence in sensory discrimination // Perception & Psychophysics 1999. V. 61. P. 1369–1383.

Stankov L. Calibration curves, scatterplots and the distinction between general knowledge and perceptual tasks // Learning and Individual Differences. 1998. V. 10. P. 29–50.

Usher M., Zakay D. A neural network model for attribute-based decision processes // Cognitive Science. 1993. V. 17. P. 349–396.

Usher M., McClelland J.L. The time course of perceptual choice: the leaky, competing accumulator model // Psychological Review. 2001. V. 108. №3. P. 550–592.

Vickers D., Lee M.D. Dynamic models of simple judgments: I. Properties of a self-regulating accumulator model // Nonlinear dynamics, psychology and life sciences. 1998. V. 2. P. 169–194.

Vickers D., Lee M.D. Dynamic models of simple judgments: II. Properties of a self-organizing PAGAN (Parallel, Adaptive, Generalized Accumulator Network) Model for Multi-Choice Tasks // Nonlinear Dynamics, Psychology, and Life Sciences. 2000. V. 4. № 1. P. 1–31.

ТРОШЕНКОВА Т.О., КОЗЛОВ А.Е., ТЕЛЕПНЕВ В.Н., РИМСКАЯ-КОРСАКОВА Л.К.

Программно-аппаратный комплекс для проведения психоакустических измерений

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ
№ 06-04-48456 и 06-04-48767

Аннотация. В сообщении представлено краткое описание программно-аппаратного комплекса для проведения психоакустических и поведенческих экспериментов, апробированного в психоакустических

экспериментах, проводимых в Акустическом институте им. акад. Н.Н. Андреева, по распознаванию как длительных, так и коротких акустических стимулов. В целях дальнейшего развития комплекса, предлагается передача его (не в целях коммерческого использования) всем заинтересованным пользователям.

Основанием для разработки представляемого программного комплекса явилось техническое задание, выданное ФГУП «Акустический институт имени академика Н.Н. Андреева», на разработку компьютерной системы для психоакустических измерений (далее - системы), выполняемую в рамках дипломного проекта. Техническое задание учитывало многолетний опыт психоакустических исследований, в том числе исследований слуховых реакций животных поведенческими методами, проводимых в Акустическом институте.

Путем разделения прав доступа, разработанный комплекс может быть использован как исследователями для постановки, планирования, и обработки результатов экспериментов, так и испытуемыми для участия в экспериментах, заданных исследователями.

Комплекс построен в виде многооконного приложения, где каждое окно представляет собой форму, содержащую в себе визуальные элементы управления и контроля. Окна предназначены для решения одной из следующих функциональных задач:

- проведения интерактивных психоакустических или поведенческих экспериментов, различающихся характером акустического воздействия на объект испытаний, условиями измерений (рабочая комната, звукозаглушенная камера, испытательный вольер), методами интерактивного управления процессом отдельных испытаний (от клавиатуры компьютера в рабочей комнате в процессе отладки программного комплекса

для очередного эксперимента, от мыши или внешнего пульта в камере или вольере при эксплуатации) с занесением результатов испытаний в базу данных системы;

- планирования экспериментов исследователями;
- формирования справочных таблиц базы данных системы: информации о параметрах эксперимента, объекте испытаний и параметрах испытательной аппаратуры;
- анализа, отбора (по интерактивно задаваемым критериям) и обработки результатов серий экспериментов с отображением табличной и графической информации;
- протоколирования (формирования отчетов) процессов испытаний и процессов обработки результатов;
- импортирования и архивирования в базу данных системы отчетной информации о ранее проведенных экспериментах, в том числе предоставляемой в виде текстовых файлов в формате DOS, созданных предыдущей версией компьютерной системы автоматизации психоакустического эксперимента (Телепнев, 2004).

Максимальная гибкость комплекса достигается за счет независимой реализации каждой из перечисленных задач в функциональных (связанных с конкретной задачей) окнах, объединенных единой базой данных. Для экономии вычислительных ресурсов предусмотрено одномоментное отображение и использование одного функционального окна, открываемого из главного окна комплекса.

Прототипом комплекса была уже упоминавшаяся, ранняя компьютерная система автоматизации психоакустического эксперимента (Телепнев, 2004). Вновь разработанный комплекс сохраняет основные достоинства предыдущей системы, а именно, интерактивное ведение эксперимента, управляемого ответами испытуемого с клавиатуры или

выносного пульта, а также возможность определения слуховых порогов обнаружения или распознавания, как с использованием статистической методики, так и двухальтернативной методики вынужденного выбора по схеме один ошибочный ответ - шаг вверх, два верных ответа - шаг вниз (Levitt, 1979).

В целях дальнейшего развития комплекса, предлагается передача его всем заинтересованным пользователям.

Библиография:

Телепнев В.Н. Бинауральное демаскирование периодической компоненты в огибающей амплитудно-модулированного сигнала // Акустический журнал. 2004. 50. 3. С. 419-428.

Levitt H. Transformed Up-Down Methods in Psychoacoustics // Journal of the Acoustic Society of America. 1979. 49. 2B. P.467-477.

ШЕНДЯПИН В.М.

Сенсорное различение: математическое моделирование

Аннотация. Развивается математическая модель решения человеком задачи сенсорного различения. Используются следующие базовые компетенции: 1) теория функциональной системы, дающая описание целостных актов поведения и деятельности; 2) аппарат формальных нейронов и векторная психофизиология для описания субъективных репрезентаций сравниваемых сенсорных объектов; 3) теория обнаружения сигнала; 4) аккумуляторная теория, предполагающая накопление свидетельств как механизм вынесения решения и адаптивную подстройку этого механизма с помощью оценки уверенности человека в

правильности своих решений. Уверенность выполняет функции подготовки и контроля принятия решения.

Введение

Задачи порогового типа характеризуются высокой субъективной неопределенностью, вызванной острым дефицитом входной сенсорной информации. Поэтому для них типична субъективно переживаемая наблюдателем сомнительность принимаемых решений, что свойственно также большинству видов сложной практической деятельности лиц, принимающих решения (руководителей, операторов, врачей, педагогов, юристов, экспертов и мн. др.). Естественно, что исследование и моделирование механизмов принятия решения и уверенности (Ув) в нем, в том числе в сенсорных задачах, бурно развивается в зарубежной и отечественной науке, начиная с середины XX в (обзоры дает Скотникова, 2002, 2005).

Такая работа ведется автором на материале психофизического эксперимента по изучению зрительного порогового различения временных интервалов, задаваемых парами последовательных световых вспышек на экране монитора – равных, либо едва различающихся по длительности, в случайном порядке (методика Скотниковой, Чурсинова, Костина, Садова). Степень различия индивидуально подбирается пороговой для каждого наблюдателя для получения 70-80% правильных ответов. Наблюдатели для каждой пары стимулов дают два ответа: 1) «одинаковы» или «различны» длительности стимулов; 2) насколько уверены они в правильности своего первого ответа.

Помимо психофизического наши исследования имеют и существенные междисциплинарные аспекты. а) Различение параметров объектов по шкале «одинаковы – различны» широко распространено не только среди сенсорных задач, но и при сравнении («такой/не такой» –

«same/different») любых объектов или их качеств, выраженность которых не обязательно измерима физическими величинами. б) Механизмы самоконтроля в форме оценки Ув человека в правильности своих решений являются достаточно универсальными для принятия любых решений и именно потому интенсивно изучаются. В силу этого данная работа имеет прикладное значение для создания технических устройств, обладающих элементами встроенного искусственного интеллекта, который может быть использован для их адаптивного функционирования в практических задачах.

Обзор математических моделей принятия решения (ПР) как альтернативного выбора с оценкой Ув представлен в работах Vickers, Lee (1998), Baranski, Petrusic (1998), Шенджини, Скотникова (2003; 2006, а, б). Кратко: наиболее развитые к настоящему времени модели для сенсорных задач можно классифицировать по способам математического описания: а) сенсорных образов стимулов; б) протекания процессов ПР во времени; в) формирования оценки Ув в правильности выбранной альтернативы.

Общая архитектура предлагаемой здесь модели различения величин сенсорных признаков построена на основе теории функциональной системы, разработанной П.К. Анохиным (1978) и его последователями (напр. Александров, 1999, 2005). Описание формирования и запоминания субъективных репрезентаций сравниваемых признаков объекта в сенсорном пространстве человека представлено на основе теории Е.Н. Соколова с соавт. (1995, 2003) о векторном кодировании этих признаков. ПР описывается на основе теории обнаружения сигнала и аккумуляторной теории Д. Викерса (1998, 2000), предполагающей накопление свидетельств как механизм вынесения решения и адаптивную подстройку этого механизма с помощью оценки Ув человека в правильности своих решений.

За рубежом при моделировании ПР в сенсорном различении с оценкой Ув не используется понятие функциональной системы и

векторное описание сенсорных репрезентаций. В отечественных же математических моделях функциональных систем (напр., Умрюхин, 1999) и векторных описаниях сенсорных репрезентаций (Забродин, 1977; Соколов и др., 1995, 2003) эти подходы не используются для анализа ПР и Ув в сенсорных задачах. Поэтому аналогов нашей модели в настоящее время нет.

В общей операциональной архитектуре функциональной системы П.К. Анохин выделил 4 принципиально важные ее подсистемы — группы психофизиологических процессов, циклически протекающие в любом живом организме. 1. Афферентный синтез, интегрирующий восприятие индивидом стимула и состояний внешней и внутренней среды; его доминирующую мотивацию и работу памяти. 2. Принятие решения, выработка программы и планирование будущих действий, формирование оценок параметров запланированных («референтных») результатов (акцептора) этих действий. 3. Реализация запланированных воздействий организма на среду и формирование затем *апостериорных* оценок достигнутых результатов. 4. Обратная связь, реализующая адаптивную подстройку всех механизмов функциональной системы для уменьшения расхождения между оценками параметров запланированных и реально достигнутых системой результатов.

Описание основных блоков модели

В соответствии с теорией Анохина, наша модель состоит из 4-х взаимосвязанных блоков, функционирование которых циклично во времени. Так как подобная модель разрабатывается впервые и ее главной целью является демонстрация принципиальной возможности применения понятия функциональной системы при моделировании сенсорных задач, то математическое описание основных блоков системы применительно к

нашей задаче было выбрано максимально простым, но сохраняющим всю специфику задачи (Шендяпина, Скотникова, 2003, 2006, а, б).

Сенсорный блок описывает внутренние механизмы приема и переработки входной информации о сравниваемых признаках стимулов и формирования их субъективных сенсорных репрезентаций. Описание в модели той части процессов афферентного синтеза, которая отвечает за восприятие входной информации, строится как векторное ее кодирование, по Е.Н. Соколову. В соответствии с этим, стимул, воздействующий на ансамбль нейронов, порождает в каждом из них определённый уровень возбуждения. Комбинация этих возбуждений образует вектор возбуждения, характеризующий входное воздействие. В процессе своей работы мозг нормирует этот вектор на единицу, в результате чего разные стимулы порождают векторы возбуждения единичной длины, различающиеся только своими направлениями.

В этом блоке выполняются следующие операции. а) Запоминание первого стимула. Он задается вектором возбуждения X , имеющим единичную длину. Для запоминания используется формальный нейрон с вектором весовых коэффициентов W также единичной длины. В результате запоминания W становится равным X . б) Вычисление сигнала новизны второго (сравниваемого) стимула V осуществляется дополнительным нейроном, сигнал которого дополняет сигнал первого нейрона до единицы. Он имеет вид: $u = 1 - (W, V)$. Второй стимул V может совпадать с эталонным X : $V = X$, при этом (с учетом, что $W = X$): $u = 1 - (X, X) = 0$, либо отличаться от него: $V \neq X$, при этом: $(X, V) < 1$ и $u = 1 - (X, V) > 0$. Так как во всех нейронных процессах мозга всегда присутствует случайный шум, то векторы входного возбуждения и весовых коэффициентов нейрона в модели являются стохастическими векторами с нормально распределенными компонентами. Сигнал новизны на выходе дополнительного нейрона также является случайным. Таким образом,

выборка случайной величины $u = 1 - (W, V)$ содержит всю необходимую информацию о различии стимулов, а значит, может быть использована для проверки статистической гипотезы (с оценкой U_v) о новизне второго стимула. Если стимулы одинаковы, то распределение выборки значений сигнала новизны u имеет нулевое среднее, а если различны, то оно больше нуля (рис. 1). Для решения этой задачи можно использовать теорию статистической радиотехники, где задача обнаружения сигнала является базовой, хорошо разработанной.

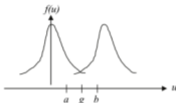


Рис. 1. Вид распределения выборки сигнала новизны при одинаковых (слева) и различных (справа) стимулах.

Блок принятия решения описывает внутренние механизмы ПР о различии или совпадении стимулов с оценкой U_v в нем. Из статистической радиотехники известно, что при условии *знания всех характеристик* сигнала и шума субъект для минимизации своих средних потерь должен использовать известные схемы оптимального двухальтернативного (с одним порогом g), либо трехальтернативного (с двумя порогами a и b) обнаружения, см. рис. 1. Однако в реальных условиях эти характеристики ему не известны, и он использует способы *адаптивного* обнаружения сигнала.

В разрабатываемой нами модели процесс ПР при обнаружении сигнала организован во времени следующим образом. Вначале с шагом

времени Δt (меньшим или равным времени корреляции шума) периферические *рецепторы* субъекта по окончании Δt обязательно совершают латентный *дихотомический* выбор решения о присутствии или отсутствии сигнала. Одновременно с принятием латентного решения «Сигнал есть» также замеряется и оцифровывается расстояние между накопленным значением критерия ПР и пороговым значением рецептора g . Аналогично, при принятии латентного решения «Сигнала нет» оцифровывается расстояние между порогом g и накопленным значением критерия u . Полученным отклонением критерия от порога: $u1 = u - g$ и $u0 = g - u$ - в соответствии с теорией обнаружения сигнала и аккумуляторной моделью Д. Векерса, придается смысл *свидетельств* в пользу соответствующих альтернатив «Сигнал есть» и «Сигнала нет». Мы использовали развитый в этой модели наиболее характеризующий принятие решения (и потому наиболее авторитетный и применяемый: Baranski, Petrusic, 1998; Usher, McClelland, 2001) принцип сравнительного «взвешивания» свидетельств в пользу сравниваемых альтернатив ответа и выбора той альтернативы, для которой они весомее (Vickers, Lee, 1998, 2000). Эта модель, разработанная применительно к «>, <»-различению, модифицирована в нашем случае для задачи «=, ≠»-различения.

Затем происходит накопление оцифрованных свидетельств в пользу рассматриваемых двух альтернатив и последующее обнаружение сигнала с субъективной оценкой правильности в форме уверенности, в духе аккумуляторного подхода к моделированию решения сенсорных задач. В случае, когда после завершения очередного периода Δt ни одна из рассматриваемых двух альтернатив не может быть принята, субъект принимает промежуточное решение «Не знаю» и продолжает наблюдение за объектом. Принципиальная схема ПР в задаче «одинаковы – различны» дана на рис. 2.



Рис. 2. Принципиальная схема принятия решения в задаче «одинаковы – различны», предложенная на основе аккумуляторного подхода.

Таким образом, в нашей модели на заданном периоде времени Δt реализуется двухальтернативное принятие латентного решения с обязательным выбором на уровне рецепторов и трехальтернативное принятие окончательного решения с возможностью испытуемому самому выбирать время своей реакции кратным шагу Δt . В работах по моделированию сенсорного различения такая структура ПР ранее не исследовалась.

Гипотеза «различны» принимается, если первой превышает свой положительный порог A_1 сумма свидетельств в ее пользу: U_1 . Гипотеза «одинаковы» принимается, если первой превышает соответствующий порог A_2 сумма соответствующих свидетельств: U_0 . В соответствии с аккумуляторным подходом, оценка степени U_g в принятом решении вычисляется следующим образом. Если в конечный момент времени

решения $T = N \cdot \Delta t$ (где N – число выборок величины u) было принято решение «различны», то степень U_v в нем равна $C1 = U1(T) - U0(T)$. Если же было принято решение «одинаковы», то степень U_v в нем равна $C0 = U0(T) - U1(T)$.

Таким образом, блок ПР имеет три канала. Два – для формирования бинарных переменных (1, 0): «различны» или «одинаковы» сравниваемые стимулы. С помощью этих каналов наблюдатель планирует достижение своего будущего результата – правильности своих ответов. Третий канал выдаёт непрерывную величину – оценку U_v в правильности принятого решения, которая в данном случае является прогнозируемым параметром будущего результата – нажатия правильных кнопок ответа. Величины порогов $A1$ и $A2$ регулируются односторонними схемами обратной связи, одна из которых приведена на рис. 3. Принцип ее работы поясняется ниже.

Блок исполнения запланированных действий в нашей модели является идеальным. Т. е. для простоты моделирования считается, что наблюдатель при исполнении запланированного решения не ошибается: всегда нажимает именно ту кнопку на клавиатуре компьютера, которую решил нажать, и не ошибается при формировании апостериорной оценки достигнутого результата.

Блок обратной связи, осуществляет подстройку порогов ПР по стандартной схеме отрицательной обратной связи: если апостериорная оценка U_v больше референтной, то пороги уменьшаются, если меньше – увеличиваются. Когда после исполнительных действий наблюдатель получает оценки всех промежуточных и конечного результата, они сравниваются с ранее ожидавшимися оценками. Если разница оказывается велика, работа механизма ПР корректируется таким образом, чтобы ее уменьшить. Именно эта коррекция, а не полученный результат и уж тем более не просто объявленное решение наблюдателя является, по Анохину, *конечным* этапом действия этого механизма.

В нашей задаче результатом ПР является выбор одной из двух возможных гипотез: одинаковы или различны сравниваемые объекты. Текущей оценкой ожидаемого параметра будущего результата является *априорная* оценка правильности выбираемой гипотезы, что субъективно переживается наблюдателем как степень его $Ув$ в готовящемся решении. Так как задача ПР является стохастической, то и априорная $Ув$ является случайной величиной. Поэтому функциональная система не сравнивает полученный в единичной пробе отсчет априорной $Ув$ напрямую с запланированным референтным уровнем $Ув$, а предварительно по результатам серии проб накапливает апостериорную оценку $Ув$, не меняя порогов A_1 и A_2 . Технически удобнее накапливать не саму апостериорную $Ув$ (C), а ее положительные и отрицательные отклонения от референтного уровня C_r . Если полученные при этом суммарные отклонения соизмеримы, то система полагает, что запланированный результат достигнут и пороги (а значит и сам механизм ПР) изменять не надо. Если же суммарные отклонения существенно различаются, то за счет обратных связей в системе должна происходить коррекция работы механизма ПР. Такая коррекция в нашей модели реализуется специальной схемой подстройки порогов в каналах решений о равенстве и различии (рис. 3).

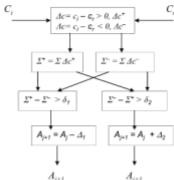


Рис. 3. Схема подстройки порога принятия решения на основе референтного уровня уверенности.

Подобная схема в модели Викерса работает на основе «референтного (опорного, желаемого) уровня Ув» ("reference or desired target level of confidence": Vickers, 1998). Т.е. характеристики уверенности-сомнительности, сопровождающей ПР, служат важными регуляторами этого процесса.

Вместе с тем понятие референтного уровня Ув требует дальнейшего специального анализа. По Викерсу, это осознанная установка на ответ, всецело определяемая внешне заданными факторами: инструкциями, платами и штрафами за верные и ошибочные ответы. По сути, это аналог критерия ПР в теории обнаружения сигнала. Однако в ряде исследований выявлены взаимосвязи между индивидуальными особенностями человека и степенью его Ув себе и в своих решениях (см. Скотникова, 2002, 2005). Эти материалы указывают на недостаточность рассмотрения референтного («желаемого») уровня Ув в решении (как и любого поведения человека)

как строго детерминированного извне, но на вероятность его зависимости от Ув в себе, свойства индивидуальности, а также от того, как он воспринял инструкции, систему плат и штрафов и т. п. Выяснение внутренних психологических детерминант референтного уровня уверенности и их соотношения с внешними – актуальная перспектива развития модели принятия решения и уверенности в нем.

Библиография:

Александров Ю.И. Теория функциональных систем и системная психофизиология // Системные аспекты психической деятельности / Под ред. К.В. Судакова. М.: Эдиториал УРСС, 1999.

Авохин П.К. Философские аспекты теории функциональных систем. М.: Наука, 1978.

Забродин Ю.М., Лебедев А.Н. Психофизиология и психофизика. М.: Наука, 1977.

Скотникова И.Г. Проблема уверенности: история и современное состояние // Психологический журнал. 2002. Т. 23. №1. С. 52–60.

Скотникова И.Г. Экспериментальное исследование уверенности в решении сенсорных задач // Психологический журнал. 2005. Т. 26. №3. С. 84–99.

Соколов Е.Н. Принцип векторного кодирования в психофизиологии // Вестник Московского Университета. 1995. Сер.14. Психология. №4. С. 3–13.

Соколов Е.Н. Восприятие и условный рефлекс: новый взгляд. М.: УМК “Психология”; Московский психолого-социальный институт, 2003.

Умрюхин Е.А. Моделирование и объективная оценка системных механизмов психической деятельности. // Системные аспекты психической деятельности / Под ред. К.В. Судакова. М.: Эдиториал УРСС, 1999. С. 177–261.

Шендяпин В.М., Скотникова И.Г. Разработка модели принятия решения в когнитивных задачах // Труды Международных научно-технических конференций IEEE AIS'03 и CAD-2003. М.: Физматлит, 2003. Т.1. С.449-453.

Шендяпин В.М., Скотникова И.Г. Моделирование решения сенсорной задачи по различению сходных объектов // VIII Всероссийская научно-техническая конференция «Нейроинформатика-2006». Ч. 3. М.: МИФИ, 2006, а. С. 163.

Шендяпин В.М., Скотникова И.Г. Математическое моделирование принятия решения и уверенности при выполнении сенсорных задач // Новости искусственного интеллекта. 2006, 6. №2 (в печати).

Baranski J.V., Petrusic W.M. Probing the locus of confidence judgments: experiments on the time to determine confidence // Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance. 1998. V. 24. P. 929-945.

Vickers D., Lee M.D. Dynamic models of simple judgments: I. Properties of a self-regulating accumulator model // Nonlinear dynamics, psychology and life sciences. 1998. V. 2. P. 169-194.

Vickers D., Lee M.D. Dynamic models of simple judgments: II. Properties of a self-organizing PAGAN (Parallel, Adaptive, Generalized Accumulator Network) Model for Multi-Choice Tasks // Nonlinear Dynamics, Psychology and Life Sciences. 2000. V. 4. № 1. P. 1-31.

Usher M., Zakay D. A neural network model for attribute-based decision processes // Cognitive Science. 1993. V. 17. P. 349-396.

Usher M., McClelland J.L. The time course of perceptual choice: the leaky, competing accumulator model // Psychological Review. 2001. V. 108. №3. P. 550-592.

МЕЖДИСЦИПЛИНАРНАЯ ПСИХОФИЗИКА

ГЛАСКО А.В.

Психофизический закон Стивенса, амплитуда вызванного потенциала и динамика внимания

Аннотация. В настоящей работе предлагается модель динамики внимания наблюдателя в процессе восприятия внешнего стимула, основанная на свойстве селективности внимания. Мера внимания связывается с амплитудой вызванного потенциала (ВП). Предсказания модели сравниваются с результатами экспериментальных измерений амплитуды. Следствиями модели являются психофизический закон Стивенса и закон Пьерона-Забродина-Лебедева.

1. Модель динамики внимания. Фундаментальным свойством внимания является его селективность: усиление внимания к одному стимулу, внешнему или "внутреннему" (порожденному воображением, воспоминанием, мышлением и пр.), неизбежно влечет за собой ослабление внимания к другим стимулам. Это свойство позволяет рассматривать внимание как сохраняющуюся величину (Гласко, 2005а), т.е. как некоторую целостность, субстанцию, подобную теплоте, веществу и пр.: внимание не возникает ниоткуда и не исчезает вникуда, оно лишь перераспределяется между стимулами, сосредоточиваясь то на одном из них, то на другом, то распределяясь между несколькими сразу. Такая интерпретация свойства селективности составляет 1-ый постулат предлагаемой теории: *внимание есть сохраняющаяся во времени субстанция.*

Под психическим пространством будем понимать отображение области коры головного мозга на плоскость. Обозначим через $I(x,t)$ плотность внимания в точке x психического пространства в момент времени t . Построим уравнение, описывающее динамику внимания в психическом пространстве в процессе восприятия внешнего стимула φ . Ввиду 1-го постулата, естественно искать такое уравнение в виде уравнения параболического типа:

$$I_t = a\Delta I, \quad (1)$$

ведь именно такие уравнения описывают динамику сохраняющейся субстанции (например, теплоты или вещества)⁴.

Для выбора структуры коэффициента a , сформулируем 2-ой постулат: *в процессе восприятия, внимание сначала концентрируется на стимуле φ , а затем рассеивается* (по отношению к нему). Классическое уравнение теплопроводности

$$I_t = a_0^2 \Delta I, \quad (2)$$

с положительным коэффициентом a_0^2 , способен описывать лишь рассеяние (дивергенцию) субстанции, но не ее концентрацию. Однако, в (Гласко, 2005 б) показано, что процесс концентрации субстанции в точке ($x=0$) возможно описать с помощью уравнения

$$I_t = -\frac{a_0^2}{t^2} \Delta I, \quad (3)$$

полученного из (2) с помощью специальной процедуры обращения времени, при "начальном условии"

$$I(\mathbf{x}, +\infty) = \delta(\mathbf{x}) \quad (4)$$

⁴ В связи с этим, уравнение (1) называют также уравнением теплопроводности или уравнением диффузии.

Для того, чтобы концентрация внимания сменялась через некоторое время рассеянием, введем в правую часть уравнения (3) растущую со временем "классическую дивергентную" добавку (Гласко, 2005):

$$I_t = -\frac{a_0^2}{t^2} \Delta I + k_0(\varphi) t \Delta I. \quad (5)$$

При малых t , эта добавка пренебрежимо мала, уравнение (5) приобретает вид (3) и описывает концентрацию внимания в точке $x=0$ (которую мы будем рассматривать в качестве проекции стимула в психическое пространство). Наоборот, при больших t , пренебрежимо мало 1-ое слагаемое в правой части (5), уравнение приобретает "классический" вид

$$I_t = k_0(\varphi) t \Delta I.$$

и описывает рассеяние внимания. Начальное условие (4), для уравнения (5) преобразуется к виду (Гласко, 2005)

$$I(\mathbf{x}, +\infty) |_{k_0=0} = \delta(\mathbf{x}) \quad (6)$$

Коэффициент a_0 выберем в виде (Гласко, 2005) $a_0=1/\varphi$.

Решение задачи Коши (5), (6) имеет вид:

$$I(\mathbf{x}, t) = \frac{1}{2\pi D(t)} e^{-\frac{x^2}{2D(t)}}, \quad (7)$$

$$D(t) = \frac{2}{\varphi^2 t} + k_0 t^2 \quad (8)$$

В частности, в точке $x=0$, соответствующей стимулу,

$$I(0, t) = \frac{1}{2\pi D(t)} = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{\varphi^2 t}{2 + \varphi^2 k_0(\varphi) t^3}. \quad (9)$$

Из последней формулы видно, что на 1-ом этапе процесса восприятия внимание к стимулу (в точке $x=0$) возрастает, а на 2-ом этапе - убывает.

В уравнении (5) присутствует неопределенный коэффициент $k_0(\varphi)$. Этот коэффициент существенно влияет на свойства решения (7). Так, если выбрать его пропорциональным φ , то дисперсия (8) будет стремиться к бесконечности при $\varphi \rightarrow \infty$ и функции (7) и (9) будут стремиться к тождественному нулю. Другими словами, большой стимул не привлечет к себе внимания наблюдателя. В реальности, конечно, имеет место обратная ситуация: чем больше стимул - тем более сильную и быструю концентрацию внимания он вызывает. Так, например, внезапный взрыв петарды за окном "мгновенно" привлекает к себе внимание. Для выбора коэффициента $k_0(\varphi)$, сформулируем 3-й постулат теории: *неограниченный рост стимула приводит к мгновенной и абсолютной концентрации внимания*. Это значит, что в пределе при $\varphi \rightarrow \infty$, функция $I(0,t)$ должна стремиться к δ -функции:

$$I(0,t) \rightarrow C \cdot \delta(t) \quad \text{при } \varphi \rightarrow \infty,$$

где C - некоторая постоянная. Из этих соображений, потребуем нормировки функции $I(0,t)$:

$$\int_0^{\tau} I(0,t) dt = C. \quad (10)$$

Здесь τ - длительность процесса восприятия (см. ниже). После вычисления интеграла, последнее равенство приобретает вид трансцендентного (алгебраического) уравнения для функции $k_0(\varphi)$.

2. Связь внимания и амплитуды ВП. До сих пор, мы говорили о плотности внимания, не определив способ измерения этой величины. Введем теперь меру внимания⁵. Физиологически, процесс восприятия внешнего стимула выражается в появлении ВП⁶ в точках КГМ. Очевидно, что динамика внимания в процессе восприятия (9) должна отражаться на

⁵ Это один из возможных способов определения меры внимания. Другой способ предложен в (Гласко, 2006). Оба способа логически согласованы.

⁶ Т.е. колебаний потенциалов.

ВП, а именно: усиление внимания к стимулу на 1-ом этапе процесса должно приводить к росту амплитуды ВП, а ослабление внимания на 2-ом этапе - к ее спаду. По определению положим, что *плотность внимания пропорциональна амплитуде ВП* $a(x, t)$:

$$a(x, t) = \alpha \cdot I(x, t), \quad (11)$$

где α – постоянный коэффициент, измеряемый в мкВ.

Отметим, что в уравнении (5) фигурирует безразмерное время. Для соблюдения размерности и масштаба времени, введем масштабный множитель времени θ (мс-1). В результате, уравнение (5) преобразуется к виду:

$$I_t = -\frac{1}{\theta \varphi^2 t^2} \Delta I + k_0(\varphi) \theta^3 t \Delta I. \quad (12)$$

а формулы (9) и (11) приведут к следующей зависимости амплитуды ВП от времени:

$$a(0, t) = \frac{\alpha}{2\pi} \cdot \frac{\varphi^2 \theta t}{2 + \varphi^2 k_0(\varphi) \theta^3 t^3}. \quad (13)$$

Эта зависимость проверялась по результатам 4-х пробных экспериментальных измерений ВП, взятым из работ (Рутман, 1974; Севостьянов, 1995; Хечинашвили, Кеванишвили, 1985; Шагас, 1975). В 3-х случаях рассматривался слуховой ВП (в 2-х - в ответ на тоновую посылку в состоянии бодрствования, в 1-ом - в ответ на щелчок во 2-ой фазе сна), в 1-ом - соматосенсорный. Сравнение показало хорошее соответствие теории эксперименту всюду, кроме одной точки (соответствующей колебанию P300) в одном из опытов (слуховой ВП в ответ на тоновую посылку, взятый из работы (Хечинашвили, Кеванишвили, 1985)). В качестве примера, на рис. 1 представлены результаты для слухового ВП в ответ на щелчок во 2-ой фазе сна, взятого из работы (Шагас, 1975)⁷.

⁷ Стр. 139, фиг. 65.

Амплитуда ВП измерялась по экспериментальному ВП между пиками соседних колебаний и ставилась в соответствие моменту времени, среднему между латентными периодами этих пиков.

3. Закон Стивенса и закон Пьерона. Формула (13) описывает бесконечно длящийся процесс колебаний потенциала КГМ. Амплитуда колебаний стремится к нулю при $t \rightarrow \infty$. В реальности, можно считать, что колебания прекратились, когда их амплитуда становится достаточно малой: $I \leq I_0$ (например, меньше разрешающей способности измерительных приборов). Таким образом, определим длительность процесса восприятия, т.е. латентный период реакции (τ), равенством

$$I(0, \tau) = I_0 \quad (14)$$

Разные исследователи связывают интенсивность ощущения с амплитудами разных колебаний ВП. Мы предлагаем свособразную альтернативу такому подходу. В качестве 4-го постулата теории примем, что *интенсивность ощущения пропорциональна среднему значению амплитуды ВП за время восприятия* (Гласко, 2005):

$$\psi = \frac{\psi_0}{\tau} \int_0^{\tau} I(0, t) dt. \quad (15)$$

Коэффициент пропорциональности ψ_0 назовем масштабом модальности: он может зависеть от модальности восприятия. С учетом (10), получим первое следствие модели:

$$\psi \tau = L = const, \quad (16)$$

где $L = \psi_0 C$. Это известный экспериментальный закон Пьерона-Забродина-Лебедева: произведение интенсивности ощущения на латентный период реакции есть величина постоянная, независящая от величины стимула (Забродин, 1977).

Вторым следствием модели является психофизический закон Стивенса (Стивенс, 1999):

$$\psi = c\phi^{\lambda},$$

Найдя $k_0(\phi)$ из трансцендентного уравнения, вытекающего из (10), получим из (14) зависимость $\tau(\phi)$. Затем из (16) найдем зависимость $\psi(\phi)$. Эта зависимость вычислялась для различных значений параметра $\psi_0' = \psi_0/L$ (это единственный параметр, присутствующий в трансцендентном уравнении (10)). Обнаружилось, что при достаточно малом I_0 , во всех случаях имеет место соответствие закону Стивенса для различных модальностей. В качестве примера, на рис.2 в двойном логарифмическом масштабе (по оси абсцисс – $\ln\phi$, по оси ординат – $\ln\psi$) представлена зависимость для $\psi_0' = 1.25 \cdot 10^{-3}$ ($I_0 = 0.01$). Нетрудно видеть, что она достаточно хорошо соответствует закону Стивенса⁸ для восприятия яркости света (точечный источник в условиях темновой адаптации): $\lambda \approx 0.5$ (Стивенс, 1999).

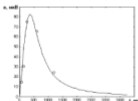


Рис.1. Сравнение экспериментальной и теоретической динамики амплитуды вызванного потенциала.

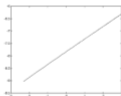


Рис.2. Теоретическая зависимость интенсивности ощущений от стимула в двойном логарифмическом масштабе.

⁸ Кривая на рис.2 близка к прямой.

Библиография:

Гласко А.В. (а) Синтез закона индукции Павлова и психофизического закона Стивенса в динамическом уравнении процесса восприятия // Труды международной конференции "Интеллектуальные системы". М., 2005. Т. 2. С. 166-174.

Гласко А.В. (б) Инверсный подход к проблеме обращения времени в уравнении теплопроводности // Сборник научных трудов третьей Всероссийской конференции "Необратимые процессы в природе и технике". М., 2005. Вып. 1. С. 46-55.

Гласко А.В. Внимание – как динамический инвариант // Обзорные прикладной и промышленной математики, 2006. Т. 13. Вып. 3 (в печати).

Рутман Э.М. Возможности применения усредненных вызванных потенциалов в психофизике // Проблемы психофизики. М.: Наука, 1974.

Севостьянов А.В. Интрацеребральные вызванные потенциалы и импульсная активность нейронов головного мозга человека в тестах на внимание: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Спб., 1995.

Хечинашвили С.Н., Кеванишвили З.Ш. Слуховые вызванные потенциалы человека. Тбилиси, 1985.

Шагас Ч. Вызванные потенциалы мозга в норме и патологии. М.: Мир, 1975.

Забродин Ю.М. Основы психофизической теории сенсорных процессов (Теоретическая и экспериментальная психофизика): Автореф. Дис. ... д-ра психол. наук. Л., 1977.

Стивенс С.С. Психофизика сенсорной функции // Психология ощущений и восприятия / Под ред. Гиннзрейтера Ю.Б., Любимова В.В., Михалевской М.Б. М.: ЧеРо, 1999.

Что и как регулирует поведение живых существ

Аннотация. Анализируется действие физических и химических факторов, отличающихся от обычно используемых в психофизических работах, во-первых, модальностью, во-вторых, интенсивностью. Экспериментальные факты доказывают, что такие воздействия эффективно изменяют различные характеристики психической деятельности. Нейрофизиологические данные показывают, что в механизме рецепции таких воздействий принимают участие определенные элементы нервной системы. Обсуждаются возможные способы влияния сверхмалых и "неспецифических" воздействий.

Характерной особенностью биологических систем любого уровня сложности является нелинейный характер ответа на возрастающий стимул самой разной природы – так называемая кривая “доза - эффект”. С точки зрения классической теории биологической активности веществ зависимость “доза - эффект” должна иметь вид кривой, монотонно возрастающей от нуля до некоторого максимума, после которого положительный эффект больше не возрастает. Однако в современных работах показано, что зависимость между параметрами воздействия и ответом может быть бимодальной: эффект возрастает при уменьшении воздействия, затем по мере его уменьшения снижается, сменяясь мертвой зоной, где эффект от воздействия фактически не заметен, а затем при еще большем уменьшении интенсивности воздействия ответ вновь усиливается (Воробьева, 2000; Воронина, Молодавкин, Чернявская, Середенни, Бурлакова, 2002). Наличие такого соотношения между интенсивностью воздействия и ответом подтверждено многими примерами, указывающими на существование нескольких максимумов активности применяемого

физического или химического агента (Бурлакова, 1999). При сверхмалых интенсивностях начинают проявлять себя неспецифические свойства даже обычных раздражений: например, эпифиз может служить мишенью биотропного действия естественных магнитных волн. Наличие магниторецепторных свойств у палочек сетчатки позволяет предполагать, что воспринимаемые ею колебания электромагнитных полей могут оказывать влияния на продукцию мелатонина.

Информацию об окружающей среде организм получает с помощью системы органов чувств. Исследователями обнаружено, что живые существа имеют возможность воспринимать такие воздействия, специфика которых намного превосходит количество органов чувств в существующей классификации. В современных исследованиях показано, что у живых существ имеются устройства, способные определять физические поля различной природы: электромагнитные, магнитные, электрические, гравитационные, а исследования по влиянию различных воздействий сверхмалых интенсивностей показывают диапазон работы этих устройств. Имеются экспериментальные данные, согласно которым крайне слабые переменные магнитные поля с амплитудами в области микротеслового, нанотеслового и пикотеслового диапазонов оказывают существенное воздействие на свойства биологических тест-систем как животного, так и растительного происхождения. При сопоставлении данных мониторинга психофизиологического здоровья детей и подростков с уровнем геомагнитной активности установлена достоверная взаимосвязь между ними. Были проведены исследования изменений инфразвуковых колебаний в атмосфере в диапазоне 0,003-0,2 Гц и в результате показано влияние инфразвука на психику человека, а в зависимости от уровня функциональных ресурсов организма гелио-геофизические факторы и психика человека могут оказывать на человека угнетающее или возбуждающее (вплоть до эйфории) воздействие. Признание наличия

неизвестных ранее органов чувств открывает новый путь для понимания того, что и как регулирует поведение человека и животных.

Существует много гипотез, касающихся конкретной физической, физико-химической и биологической интерпретации взаимодействия физических полей и сверхмалых интенсивностей различной природы с живыми существами (Бурлакова, 1999). Многие исследователи приходят к предположению о том, что важнейшую роль в рецепции и передаче информации о действующем агенте выполняет водная среда, которая может легко изменять свои свойства. В ряде опытов на различных объектах (планарии, растворы протеинов) установлена передача эффектов действия слабых магнитных полей через предварительно обработанные магнитными полями водно-солевые растворы, что указывает на важную роль водной среды в механизмах реализации биологического действия слабых магнитных полей. В экспериментах, проведенных на нейронах моллюска, показано влияние изменения кластерной структуры воды и различных биологически активных веществ на их электрическую активность (Терехова, Греченко, 2003).

Библиография:

Бурлакова Е.Б. Особенности действия сверхмалых доз биологически активных веществ и физических факторов низкой интенсивности // Российский химический журнал. 1999. Т. XLIII. Вып.5. С.3-11.

Воробьева Т.М. Ориентировочная реакция на изменения внутренней среды - один из механизмов влияния субминимальных доз фармакопрепаратов // VII Российский национальный конгресс "Человек и лекарство", симпозиум "Сверхмалые дозы психотропных средств". М., 2000.

Воронина Т.А., Молодавкин Г.М., Чернявская Л.И., Середенни С.Б., Бурлакова Е.Б. Сверхмалые дозы феназепам: влияние на

биоэлектрическую активность мозга крыс и их поведение в различных моделях тревоги // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. 2002. Приложение 4.

Терехова С.Ф., Греченко Т.Н. Регуляция функционального состояния нейрона сверхмалыми дозами различных биологически активных веществ // Радиационная биология. Радиоэкология. 2003. Т. 43. №3. С. 315-319.

ИЗМАЙЛОВ Ч. А., ЗИМАЧЕВ И.М.

Два механизма кодирования яркости в зрительной системе позвоночных

Работа финансировалась грантом РФФИ № 04-06-80245

Большая часть позвоночных формирует представление об окружающей среде на основе светового воздействия на сетчатку глаза. Зрительные механизмы кодирования этого воздействия составляют ахроматическое зрение позвоночных. Как было показано в работах с перерезкой оптического нерва (Maffei, Fiorentini, 1981, 1982, Maffei и др., 1985) электрическая активность сетчатки высших позвоночных, регистрируемая в виде электроретинограммы (ЭРГ), различается в зависимости от двух типов световой стимуляции: однородного засвета сетчатки или паттерна в виде одномерной или двумерной решетки с разной пространственной частотой. В последнем случае аббревиатура электроретинограммы меняется на ПЭРГ, что обозначает ответ сетчатки на оформленный стимул (паттерн), на «конфигуративную» характеристику стимула (Arden, Vaegan, 1983). Цель данной работы исследовать реакцию сетчатки лягушки в ответ на однородное освещение сетчатки и в ответ на стимулы, оформленные в виде линии, меняющейся по яркости и ориентации, чтобы сравнить механизмы кодирования светового

воздействия (механизмы ахроматического зрения) в зрительных системах низших и высших позвоночных.

Методика

Животные. Опыты проводили в условиях темновой адаптации при комнатной температуре на 4 взрослых особях травяной лягушки *Rana temporaria*, обездвиженных инъекцией дилоцина (0,1 мг/кг). Животное располагали в ванночке на восковой площадке и накрывали периодически смачиваемой марлевой тканью. По окончании опытов (3-5 ч.) животное возвращали в аквариумный вольер. Каждое животное участвовало только в одной серии опытов.

Регистрация ЭРГ. Временная диаграмма предъявления стимулов и записи ЭРГ приводится на рис. 2. Предъявление стимулов производили в виде последовательности из трех вспышек, мгновенно сменяющих одна другую: фон (темнота) – первый стимул (длительностью 2 с) – второй стимул (2 с) – снова первый стимул (2 с) – и снова фон (темнота). Такая триадная стимуляция позволяла получать реакции ЭРГ как на прямые (референтный стимул заменяется тестовым), так и обратные смены стимулов в паре. Интервал между триадами занимал не менее двух минут, чтобы глаз лягушки вернулся к исходному уровню темновой адаптации. Ретинограмму записывали монополярно с поверхности роговицы глаза кольцевым платиновым электродом. Референтный электрод устанавливался на коже головы позади глаза. Электрический потенциал с электрода поступал на предварительный усилитель, затем на осциллограф CI-103 и, далее, на аналого-цифровой преобразователь компьютера. Оцифровку производили с частотой 250 гц.

Стимулы. Опыты состояли из двух серий. В первой серии стимулами служили однородные монохромные световые вспышки экрана монитора длительностью 2 с каждая. Яркость стимулов варьировалась в диапазоне

от 0.1 кд/м² до 75 кд/м². Опыты проводили с четырьмя группами стимулов, которые имели разный спектральный состав (для человеческого зрения стимулы были синего, зеленого, красного и белого цвета). В процессе эксперимента стимулы варьировали только по яркости, а спектральный состав стимулов в одном и том же опыте не меняли. Во второй серии стимулами служили тонкие светлые линии на темном фоне, меняющиеся по шести значениям ориентации (от 0° до 150° с шагом в 30°) и по шести уровням яркости (в диапазоне от 1 кд/м² до 32 кд/м²). Все 36 стимулов проходили через центр поля зрения и имели одинаковую длину на экране монитора. Для стимулов 1 кд/м² и выше яркость стимулов измерялась яркомером-колориметром с ошибкой $\pm 5\%$, а для стимулов менее 1 кд/м² - определялась по специальной номограмме, устанавливающей связь между яркостью каждого из трех люминофоров монитора, на котором предъявлялись стимулы, и соответствующим компьютерным кодом.

Результаты и их обсуждение

Вычисление значений амплитуд ЭРГ. В результате предъявления стимулов триадами получены ЭРГ-реакция, как при включении-выключении стимулов, так и смене первого стимула на второй, и при обратной смене второго стимула на первый. На рис. 1 приведены ответы сетчатки в соответствии с двумя типами стимулов, использованных в опытах. Рис. 1а представляет данные, когда стимулами были вспышки гомогенного света, а рис 1б – реакция в ответ на смену стимулов-линий, отличающихся по яркости и ориентации, т.е. здесь предполагается суммарный вклад в амплитуду ЭРГ разных нейронных сетей сетчатки.

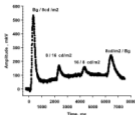


Рис. 1а

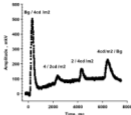


Рис. 1б

Кроме того, рис. 1а представляет ситуацию, когда первая смена стимулов (второй пик на графике) представляет собой b-волну ЭРГ, т.е. ответ сетчатки на инкремент яркости, а рис. 1б – обратную ситуацию, когда этот же пик на графике представляет d-волну ЭРГ, т.е., ответ на декремент яркости. По оси абсцисс отложено время в секундах, а на графике показаны пики, соответствующие включению, взаимозаменам и выключению стимулов, а также значения яркостей референтного и тестового стимулов. По оси ординат – амплитуда ЭРГ в микровольтах. Каждый из этих графиков (как и все остальные измерения электроретинограммы) получен по результатам усреднения пяти предъявлений одной и той же пары стимулов для одного и того же животного. На основании этих усредненных данных амплитуду ответа рассчитывали, как разность между значениями пика и фона, непосредственно предшествующего моменту смены. Значения пика и фона также вычисляли, как среднее по пяти последовательным величинам оцифрованной ЭРГ.

Четыре матрицы (10х10) амплитуд b-волны ЭРГ (второй пик на рис 1а), полученные в ответ на попарные взаимозамены однородных световых стимулов в первой серии опытов, рассматривались как матрицы попарных

ретиальных различий между стимулами. Они анализировались метрическим методом многомерного шкалирования для построения пространства различения яркостей сетчаткой лягушки (рис. 2а-2г), аналогично тому, как это было сделано для построения субъективного пространства различения яркости (рис.3) зрительной системой человека (Izmailov, Sokolov, 1991). Матрица (6х6) амплитуд b-волны (третий пик на рис 1б), полученная во второй серии опытов в ответ на взаимозамену одного референтного стимула-линии (яркость 1 кд/м^2 , ориентация 0°) 36-ю тестовыми стимулами-линиями, была использована для построения V-образных функций, позволяющих оценить взаимодействие каналов, детектирующих яркостные и ориентационные характеристики стимулов (рис. 4). Эти данные сравнивали с амплитудами b- и d-волн, зарегистрированными в ответ на включение-выключение стимулов в обеих сериях (первый и четвертый пики на рис. 1а,б)

Сравнение ответов сетчатки на включение-выключение светового стимула и на смену стимулов друг на друга. В ЭРГ, которая записывается в ответ на гомогенную световую вспышку (когда яркость стимула значительно превышает яркость фона), включение стимула всегда представляет ответ (b-волну) по амплитуде в несколько раз больший, чем выключение этого же стимула (d-волну). (Гранит, 1957; Korth, 1983, Зимачев и др., 1986; Измайлов и др., 2006). Эта разница в амплитудах соответствует картине, полученной нами при включении-выключении как для гомогенного засвета сетчатки, так и для линии на темном фоне. На рис 2а и 2б видно, насколько больше разница в амплитудах b- и d-волн на включение (первый пик) и выключение (четвертый пик) линии, по сравнению с условием взаимозамены стимулов-линий (второй и третий пики). Разница амплитуд при смене стимулов, различающихся по яркости (второй и третий пики на рис. 2 а,б) также видна, но она значительно меньше. Эти данные показывают, что реакция сетчатки на включение-

выключение оформленного стимула (линии) совпадает по своим характеристикам с реакцией сетчатки на однородный засвет сетчатки (ЭРГ), но отличается от реакции на различие между оформленными стимулами, как по яркости, так и по ориентации. Это позволяет выдвинуть тезис, что только в последнем случае мы имеем дело с ПЭРГ - реакцией сетчатки собственно на паттерн, т.е. неомогенное распределение излучения по сетчатке во времени или пространстве (Estevez, Spekreijse, 1974) и что ПЭРГ на различие между стимулами имеет, как это показано для высших позвоночных (Maffei, Fiorentini, 1990), другое происхождение, чем ЭРГ.

Геометрическая модель ахроматического зрения лягушки. На рис. 2 представлено, для примера, два графика, характеризующих положение стимулов зеленого и белого цвета разной яркости в пространстве, полученном по амплитудам β -волны ПЭРГ, зарегистрированным в ответ на смену однородных световых стимулов. Видно, что конфигурации точек-стимулов образуют на плоскости одинаковую круговую последовательность от минимального по яркости стимула, обозначенного номером один, до максимального - номер десять. Точно такие же данные получены для яркостей у стимулов красного и синего цвета. Это означает, что эти пространства топологически идентичны. Т.е., независимо от спектрального состава излучения все эти данные представляют одну и ту же модель различения яркости стимулов сетчаткой лягушки. Сравнение графиков на рис. 2 с аналогичным графиком, представляющим различение яркостей зрительной системой человека (рис.3), показывает и здесь полное топологическое соответствие. Сферическая координата точки-стимула на графиках рис. 2, и измеренная как угол между положительным направлением оси X2 и радиус-вектором точки, представляет реакцию глаза лягушки, которая монотонно изменяется в ответ на увеличение яркости стимула аналогично тому, как меняется воспринимаемая яркость

при таком же изменении стимула в сферической модели ахроматического зрения человека. Таким образом, степень изменения яркости (яркостное различие) в сетчатке лягушки определяется двухканальной сетью нейронов, аналогично тому, как это рассмотрено в работах (Измайлов и др., 2006) для зрительной системы человека.

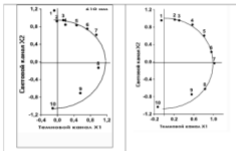


Рис. 3.

Кодирование яркости в зрительной системе человека и в сетчатке лягушки. Исходя из сферической модели различения яркости, можно построить функцию зависимости ответа сетчатки от интенсивности стимула, аналогично традиционной психофизической функции яркости, получаемой в опытах на человеке. На рис.4 показаны функции яркости для лягушки и человека, выведенные из сферической модели по данным, приведенным на рис. 2 и 3.

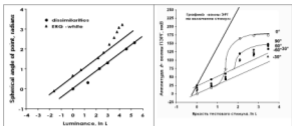


Рис. 4.

На рис. 4, а сравниваются данные человека и лягушки, полученные для стимулов белого цвета, а на рис. 4,б - данные лягушки, полученные для разных монохромных стимулов. По оси абсцисс здесь отложена разность между референтным и тестовыми стимулами, но, поскольку референтный стимул имеет фиксированное значение, то ось абсцисс обозначена только через тестовые стимулы. Данные рис.4, а показывают, что в диапазоне до 15 кд/м² восприятие яркости у лягушки хорошо согласуется с восприятием человека и с логарифмическим законом Фехнера, на этом участке обе функции линейны и параллельны. Однако, при дальнейшем увеличении различия между референтным и тестовым стимулами амплитуда b-волны начинает возрастать более резко, что приводит к специфическому искажению логарифмической функции. Такая же точно нелинейность после яркости 15 кд/м² наблюдается и для зеленого стимула (рис. 4, б). В то же время для синего и красного стимулов, максимальная яркость которых не превышает 12 кд/м², графики имеют линейную форму.

Особенно наглядно этот эффект можно увидеть на графиках, которые показывают изменение амплитуды ответа сетчатки (ПЭРГ) в

зависимости от яркости для стимулов линий разной яркости (рис. 5). Каждый тип значков характеризует условие, когда тестовые стимулы имеют одинаковую ориентацию, значение ориентации в градусах показано справа от графиков. Тонкой сплошной линией показаны графики, связывающие полученные значения амплитуд для этих функций, а пунктирной линией показаны ожидаемые стандартные функции яркости. Для наглядности показаны только две из шести функций: верхняя - для нулевого различия по ориентации между тестовым и референтным стимулами, т.е. чисто яркостная функция ПЭРГ, и нижняя – яркостная функция ПЭРГ для максимального различающихся по ориентации стимулов. Все остальные яркостные функции ПЭРГ для промежуточных значений ориентации тестовых стимулов имеют такую же форму и, как это видно по соответствующим значкам, располагаются параллельно и в прямом соответствии с углом ориентации тестового стимула. Толстая сплошная линия представляет яркостную функцию включения стимула (b-волну ЭРГ по данным, приведенным на рис. 2 и 3). Видно, что вначале, в диапазоне небольших различий по яркости между референтным и тестовым стимулами, ожидаемые и полученные данные хорошо согласуются между собой. Но с увеличением разности по яркости, все функции, где комбинируются яркость и ориентация (показаны заполненными значками), продолжают идти параллельно, а чисто яркостная функция ПЭРГ (показана кружками) резко смещается в сторону яркостной функции по амплитудам ЭРГ (толстой линии).

Заключение

Рассмотренные выше данные позволяют сделать некоторые предположения о достаточно сложном взаимодействии различных механизмов в сетчатке лягушки. В частности, речь идет о двух механизмах кодирования интенсивности светового излучения и механизме

кодирования ориентации линии. Прежде всего, представляется целесообразным разделить эти механизмы на два класса – энергетический механизм кодирования интенсивности светового потока, работа которого отражается в ЭРГ, и механизм кодирования яркостного паттерна, т. е. формы распределения светового потока в пространстве зрительного поля, активность которого выражается в ПЭРГ. Таким образом, полученное различие в ответах сетчатки лягушки на включение стимула-линии (ЭРГ) и на изменение ориентации и яркости линии (ПЭРГ) соотносится не только с отличием гомогенного засвета сетчатки от оформленного стимула, но и с разницей в условиях предъявления стимулов, а именно, мгновенной взаменозаменой стимулов.

Библиография:

Зимачев, М.М., Шехтер, Е.Д., Соколов Е.Н., Измайлов Ч.А. Хроматическая составляющая электроретинограммы лягушки // Журнал высшей нервной деятельности. 1986. Т.36. № 6. С. 1100-1107.

Измайлов Ч.А., Зимачев М.М., Соколов Е.Н., Черноризов А. М. Двухканальная модель ахроматического зрения лягушки // Сенсорные системы. 2006. Т. 20. №. 1. С. 1-11.

Фомин С. В., Соколов Е. Н., Вайткявичус Г. Г. Искусственные органы чувств. М.: Наука. 1979.

Adrian, E.D. The Physical Background of Perception. Oxford, Clarendon Press. 1946.

Arden, G.B., Vaegan E. Electroretinograms evoked in man by local uniform or patterned stimulation // Journal of Physiology. London. 1983. № 341. P.85-104.

Estevez, O., Spekreijse, H. Relation between pattern appearance-disappearance and pattern reversal responses // Experimental Brain Research. 1974. № 19, P. 233-236.

Estevez, O., Spekreijse, H. The "silent substitution" method in visual research // Vision Research. 1982. № 22, P. 681-91.

Izmailov, Ch.A., Sokolov, E.N. Spherical model of color and brightness discrimination // Psychological Science. 1991. № 2. P. 249-259.

Izmailov, Ch.A., Zimachev, M.M., Dzhabarov, E. N. Luminance discrimination probabilities derived from the frog electroretinogram // Fechner Day 2001. Proceeding of the Seventeenth Annual Meeting of the International Society for Psychophysics. Pabst Science Publisher. 2001. P. 206-211.

Izmailov, Ch.A., Sokolov, E.N.. Subjective and objective scaling of large color differences // Psychophysics beyond sensation. Law and invariants of human cognition / Eds. C. Kaernbach, E. Schroger, and H. Muller. Mahwah: Erlbaum. 2004. P. 27-42.

Maffei, L., Fiorentini, A. Pattern visual evoked potentials and electroretinograms in man and animals // Visual Evoked Potentials / Ed. J.E. Desmedt. N.Y.: Elsevier Science Publisher. 1990. P. 25-33.

ЛЕБЕДЕВ А.Н.

Нейрофизиологические константы в уравнениях психофизики

Работа поддержана грантом РГНФ N 04-06-00096a (2004-2006) «Оценка когнитивных и личностных характеристик человека по электрическим потенциалам головного мозга» и грантом ГУ ВШЭ (2006-2007) "Учитель-ученики" N 06-04-0031 «Личностные предикторы профессионального роста».

Аннотация. В психофизике и экспериментальной психологии множество разнообразных закономерностей никак не связано между собой. Нет общих констант. Новые представления о волновых пространственно организованных нейронных процессах и всего лишь две

нейронные константы, Бергера и Ливанова, включенные в десяток простых формул, позволили впервые выявить искомого связь, расширить сферу приложения и повысить точность уравнений, предсказывающих поведение человека, в том числе за пределами психофизики.

Мир дискретен, состоит из небольшого числа элементов и огромного числа комбинаций из них. Каковы же элементы внутреннего мира человека, его константы и законы? М.Н. Ливанов вслед за Гансом Бергером зарегистрировал электрические потенциалы мозга и обнаружил новый феномен - скачки между периодами мозговых волн при плавном изменении частоты ритмичных вспышек (Ливанов, 1989, с.44). Скачкообразные различия периодов колебаний выявлены фоновой ЭЭГ (Забродин, Лебедев, 1977, Lebedev, 1990). Н. Винер, обнаружив независимо этот феномен захвата близких по частоте колебаний, увидел в нем ключ к законам поведения человека. Прошло много лет с момента открытия. Что изменилось в психологии? Обозначим символом (R) константу М.Н. Ливанова. Она равна частному от деления величины скачка (интервала относительной рефрактерности между нейронными спайками, около одной сотой секунды) на период согласованных колебаний нейронной активности ($R=0.1$). У человека частота самых мощных колебаний нейронной активности равна, в среднем, десяти герцам. Это константа Бергера, первооткрывателя альфа-ритма, $F=10$ Гц. Критическая разность частот колебаний, взятая по отношению к их средней величине, (R) , - это та же константа М.Н. Ливанова. Колебания с большей разностью периодов (или фаз) не способны к взаимозахвату и поэтому сохраняются длительное время, составляя основу памяти в ее разных проявлениях. Для устойчивости достаточно согласованной активности нескольких сот нейронов в составе одного ансамбля. Пусть N - мера разнообразия фаз согласованных колебаний нейронной активности в одном волновом пакете,

т.е. в составе одной, простейшей единицы памяти. Разнообразие рассчитывается по формуле $N=1/R-1$, в которой число (N) округляется до целого значения. Количество объединенных волновых пакетов в составе следующей, более сложной, единицы долговременной памяти также не превышает числа (N), поскольку один пакет из волны нейронной активности возникает вслед за другим пакетом через промежуток времени, больший или равный интервалу относительной рефрактерности (пониженной возбудимости нервной клетки после разряда). С учетом сказанного рассчитаем объем памяти человека и ее быстродействия. Объем долговременной памяти (C) равен степени, в основании которой разнообразие (N) волновых пакетов, а в показателе - их число (N) в составе одной единицы долговременной памяти (Lebedev, 2001). Искомый объем задан формулой $C=N^N$. При типичном значении константы Ливанова, $R=0.1$, размер долговременной памяти составляет примерно 400 миллионов единиц хранения. Слова родного языка занимают в этом хранилище около 10-20 тысяч. Обозначим символом (A) число разных стимулов в их перечне (алфавите). Перечень хранится в долговременной памяти в виде образов предъявленных стимулов. В свою очередь, (M), объем внимания в каждый текущий момент, равен небольшому числу актуализированных элементов долговременной памяти. Актуализированы образы предъявленных стимулов (A), а также иные элементы памяти, ассоциированные с предъявленными стимулами. В среднем, объем внимания равен произведению объема алфавита стимулов (A) на половину объема кратковременной памяти, выраженному формулой $M=A(H+1)/2$. Внимание предельно концентрировано при равенстве ($M=A$). Внимание максимально рассеяно, если равно произведению ($M=AH$). Максимальный объем кратковременной памяти (H) для стимулов, размер (M) субъективного алфавита которых равен размеру заданного алфавита (A), вычисляется по уравнению $H=N*\ln N/\ln(A)$. Эта же формула указывает на

максимально возможную размерность ($W \leq H$) субъективного пространства при числе различимых градаций (A) признака по каждой оси субъективного пространства в задачах численной оценки различий между сравниваемыми стимулами. Задача объективной оценки размерности субъективного пространства считается важнейшей (Е.Н. Соколов, 2003). Ощущение разности (D_{ij}) между двумя одномоментно сравниваемыми стимулами в диапазоне ($i=1..M-1$ и $j=i+1..M$) испытуемые обычно выражают в баллах от нуля ($D_{ij}=0$, нет никакого различия) до максимального значения (D_{max} , стимулы различаются полярно). Здесь (M) - число всех разных стимулов, взятых для сравнения. Ощущение разности можно выразить коэффициентом корреляции $R_{ij}=1-2(D_{ij}/D_{max})^2$. Среднее значение $Q=1-\text{abs}(R_{ij})$ для всех R_{ij} позволяет вычислить размерность (W) субъективного пространства по формуле $W=1+Q(M-1)$. Размерность (W) субъективного пространства всегда больше единицы, но не превышает значения (M) при ($Q=1$) в ситуации полной неопределенности при ($R_{ij}=0$), а именно, при $D_{ij}=D_{max}/\sqrt{2}$ во всем диапазоне стимулов, где $\sqrt{2}$ - знак квадратного корня. Напротив, при полной определенности ($R_{ij}=1$ или $R_{ij}=-1$, $Q=0$) субъективное пространство для таких стимулов одномерно ($W=1$), резко отличаясь от своей предельной величины (H). Опытные данные С.Г. Коршуновой и Ю.М. Ставной по многомерному шкалированию согласуются с нашими выкладками. Число (M) различных мотивов (или иных предикторов) учитываемых одновременно при выборе одного решения из двух равновероятных ($p=0.5$), не превышает константы (N). Стандартное отклонение (S) вероятности (p) выбора рассчитывается по формуле $S=p/\sqrt{M} \leq 0.5$, где функция $\sqrt{}$ - операция извлечения квадратного корня. При числе предикторов (M) больше, чем единица, приближенно искомую вероятность (q) мажоритарного выбора ($q > 0.5$) можно вычислить по формуле $q=0.5+0.677*S$, поскольку распределение числа исходов в случае множественности предикторов подчиняется

биномиальному закону, приближенно описываемому распределением Гаусса, значение интегральной функции которого равно при этом условию 0.75. Приближенность объясняется тем, что ось абсцисс не простирается до бесконечности в обе стороны от среднего значения аргумента. Она ограничена конечными значениями вероятности (р), принятия решения: нулем в левой ветви и единицей - в правой. Искомая вероятность (q) в пределе при (M=N=9) равна $q=0.61$ согласно предыдущей формуле, отражая равновесие множества мотивов. Владимир Лефевр и другие (Лебедев, 2003) экспериментально выявили вычисленную искомую вероятность (q), увидев в найденной величине "золотое сечение" $q=(\sqrt{5}-1)/2=0.62$. До сих пор были неясными причины «золотого» соотношения в психологии. Теперь видно, что это точка равновесия, бифуркации, наибольшей неопределенности разных мотивов, наибольшей свободы выбора. Одним из первых искомую границу увидел Г. Фехнер, исследуя форматы картин множества художников, а в наши дни на нее же обратил внимание И.В. Прангишвили, заметив, что соотношение объемов частного и государственного секторов экономики подчиняется правилу «золотого сечения» в развитых государствах свободного мира (личное сообщение). Происхождение «золотого сечения» следующее. Образы, актуализируемые в сознании с равной частотой, имеют наибольшие шансы к слиянию, объединению и обобщению. Не объединяются только те ансамбли, частоты актуализации которых соотносятся как члены гармонического ряда (1, 1/2, 1/3, 1/4, 1/5 ...). Из этого соотношения вытекает зависимость объема словаря (G) от объема текста (V), практически важная для решения задач в области количественной лингвистики: $G=R*V+(V-R*V(\ln(R*V)+0.5772))/2$, где R – все та же константа М.Н. Ливанова (Лебедев, 2004).

Из факта периодичности мозговых волн легко выводятся далее временные характеристики сличения воспринимаемых и хранимых в

памяти сигналов. По нашей гипотезе, пакеты волн нейронной активности, кодирующие число (M) образов памяти, сравниваются с пакетами волн, порождаемыми числом (K) одновременно предъявленных стимулов. Время сравнения, $t(K)$, мс/стимул, зависит от периода $T=1/(F \cdot R)$ биений близких частот в полосе альфа-ритма $t(K)=T \cdot (1-PK) \cdot (1-PK)/(K+1)$, где (P) - вероятность успешного сравнения без задержки, вызванной несовпадением фаз реактивных и фоновых колебаний нейронной активности в момент воздействия стимула, а именно, $P=(1-R)/M$, и $T=1/(F \cdot R)=1000$ мс - максимальная длительность задержки., $F=10$ Гц, $R=0.1$ - константы. Если $M=N>1$ и $K=1$ по условиям измерения, как это имеет место в известной методике по измерению скорости мнемического поиска единственного ($K=1$) стимула среди числа (N) предварительно запомненных стимулов, т.е. среди элементов кратковременной памяти, то время (T_c), необходимое для позитивного решения в среднем, вычисляется по формуле $T_c=T \cdot (N+1) \cdot (1-P/N)2/(4 \cdot N)$, с обозначениями, принятыми выше, а время, необходимое в среднем для сравнения одного элемента, хранящегося в памяти, с предъявленным стимулом, подчиняется производной формуле $t=T_c/(N-1)$. Время, вычисленное по этой формуле при $T=1/(F \cdot R)$, $R=0.1$, $F=10$ Гц и $M=N>>1$, оказалось равным эмпирически найденной константе Кавеноха (Лебедев,2003), т.е. одной четверти секунды. Столько времени необходимо для сканирования всего содержимого кратковременной памяти. При $M=N=1$ вычисленное по той же формуле значение, равное 5 мсек, приближается к константе Г.-Г. Гайсслера (4.6 мсек), т.е. равно минимально возможному кванту времени, имеющему психологический смысл. Квант определен Гайсслером эмпирически по скачкообразному приросту скрытого времени сенсомоторных реакций (Лебедев,2004). Он же рассчитывается по формуле $G=0.5R/F$. Максимум скрытого времени реакции равен $T=1/(FR)$. Чем выше физическая интенсивность стимула, тем больше нейронов вовлекаются в согласованную активность, кодируя

именно этот стимул, и поэтому тем меньше число (M) актуализированных иных образов в фокусе внимания. И обратно, чем ниже физическая интенсивность стимула, тем больше число (M) актуализированных посторонних образов памяти и поэтому медленнее ответные реакции, скрытое время которых подчиняется формуле $T_i = T/(1+h \cdot I)^2$, следующей из предыдущего уравнения. Здесь I - интенсивность стимула в децибелах над порогом и h - коэффициент пропорциональности, неодинаковый для стимулов разных модальностей. При минимальной интенсивности вблизи нижнего абсолютного порога число (M) различных актуализированных образов памяти и число (K) различных посторонних сигналов, воспринимаемых вместе с околороговым стимулом, много больше одного ($I_{min}, M \gg 1, K \gg 1$), а при восприятии надпороговых стимулов при интенсивности, приближающейся к максимальной, число воспринимаемых стимулов равно, по условной измерения, единице, также как и число ожидаемых стимулов ($I_{max}, M=1, K=1$). Соотношение переменных перцептивных задержек (T_{max}/T_{min}), равное соотношению силы ощущений (S_{max}/S_{min}), при этом условии с учетом известной формулы основного психофизического закона в записи С. Стивенса задано уравнением $T_{max}/T_{min} = S_{max}/S_{min} = (I_{max}/I_{min})^n$, где (n) - показатель степени основного психофизического закона. Вычисленное при заданных условиях отношение (T_{max}/T_{min}) равно ($2/R_2$), а показатель степени в законе Стивенса определяется уравнением $n = \ln(2/R_2)/\ln(I_{max}/I_{min})$ с константой Ливанова, $R=0.1$. Расчет по этому уравнению приводит к тем же величинам искомого показателя степени, что и найденная опытным путем формула Тетсуяна (Лебедев, 2004). Разрабатывая идею дискретных волновых кодов внутреннего мира человека, мы вышли за пределы психофизики (Забродин, Лебедев, 1977), обнаружив, что устойчивые наборы параметров электроэнцефалограммы (значения амплитуд, частот, фаз, корреляций) позволяют предсказать многие личностные особенности

человека, индивидуальные характеристики скорости и точности обработки информации, интеллектуальную одаренность, профессиональные склонности и другие показатели, определяемые обычно тестами (Лебедев, 2004, Берестнева и др., 2005)

Итак, две константы, имеющие ясный смысл, легко доступные независимой оценке, в составе новых уравнений, вытекающих из предпосылки академика М.Н. Ливанова об устойчивых волнах нейронной активности, объясняют количественно множество опытных данных в психофизике, а также в экспериментальной психологии и лингвистике, существенно приближая психологию к уровню ранее развитых естественных наук, таких как физика, химия или генетика.

Библиография:

Берестнева О.Г., Лебедев А.Н., Муратова Е.А.. Компьютерная психодиагностика. Учебное пособие. Томск: Изд-во ТПУ, 2005. С. 114-124.

Забродин Ю.М., А.Н. Лебедев А.Н. Психофизиология и психофизика. М.: Наука, 1976. С. 288.

Лебедев А.Н.. Нейронный код // Психология. 2004. Т.1. № 3. С.17-36.

Ливанов М.Н. Пространственная организация процессов головного мозга. М.: Наука, 1972. С. 182.

Ливанов М.Н. Избранные труды. Пространственно-временная организация потенциалов и системная деятельность головного мозга. М.: Наука, 1989. С. 230.

Соколов Е.Н. Восприятие и условный рефлекс. Новый взгляд. М.: УМК «Психология», 2003. С. 288.

Lebedev A.N. Cyclical Neural Codes of Human Memory and Some Quantitative Regularities in Experimental Psychology // Psychophysics Explorations of Mental Structures / Ed. H.-G.Geissler. Toronto. Hogrefe@Huber Publishers. 1990. P. 303-310.

Lebedev A.N. Imaginary Dimensions of Subjective Spaces // Psychometric Methodology. Proceedings of the 7th European Meeting of the Psychometric Society in Trier / Eds. R.Steyer, K.F.Wender, K.F. Widman. Stuttgart, New York, Fisher Verlag. 1993. P. 258-262.

A.N. Lebedev. The oscillatory mechanism of memory // Cognitive Processing, International Quarterly of Cognitive Sciences. 2001. V. 2. P.57-66.

**ПОЛЯНСКИЙ В.Б., АЛЫМКУЛОВ Д.Э., ЕВТИХИН Д.В.,
СОКОЛОВ Е.Н.**

**Нейроны верхнего двуххолмия мозга кролика вычисляют
яркостные и цветовые различия между стимулами**

Работа выполнена при поддержке Российского
фонда фундаментальных исследований (грант
04-04-48345).

В работе исследованы ответы 83 нейронов верхнего двуххолмия (ВД) мозга бодрствующего кролика с фазическим разрядом, составленного из раннего разряда (50-90 мс от момента замены стимулов), тормозной паузы и вторичного, позднего разряда (120-250 мс). Для стимуляции использовали замены 8 черно-белых стимулов разной интенсивности (4-19 кд/м²) и 8 различных цветовых стимулов друг на друга. В результате опытов оказалось, что у 25 нейронов (27%) обнаружено двумерное ахроматическое пространство с двумя осями – яркостной и темновой. Такое пространство выявлено только для раннего фазического разряда. У 16 нейронов (19%) обнаружено четырехмерное цветовое пространство с двумя плоскостями – цветовой и яркостной, при этом для большинства нейронов (12) такое пространство было выявлено только для позднего фазического разряда нейрона. Предполагается, что анализ яркостных различий между стимулами в ВД происходит на основе информации,

приходящей прямо от сетчатки, а анализ цветовых различий - опосредованно, вторично на основе уже обработанной информации, приходящей из зрительной коры.

Изоморфность сенсорных пространств нейронов ВД, наружного колеччатого тела (НКТ), зрительной коры, а также пространств, реконструированных на основе условно-рефлекторных ответов при цветовых дифференцировках, подтверждают гипотезу Е.Н.Соколова о векторном кодировании сенсорной информации в мозге человека и животных.

В наших предыдущих опытах на нейронах зрительной коры и НКТ кролика (Полянский и др., 2005, 2006) были исследованы реакции нейронов на замены цветовых и черно-белых стимулов различной интенсивности. Многие нейроны реагируют на такие замены разрядом, в состав которого входят первичный фазический разряд (50-90 мс от момента замены стимулов), тормозная пауза и вторичный разряд. Первичный разряд, или «разряд различия» содержит информацию о яркостных и цветовых различиях. Были построены сенсорные пространства исследованных клеток.

В результате опытов в зрительной коре и НКТ были выделены два типа клеток, кодирующих либо только яркостные, либо и цветовые, и яркостные различия. Яркостные пространства оказались двумерными, с яркостной и темновой осями. Нейроны второй группы имели четырехмерное пространство с двумя плоскостями – цветовой и яркостной. Цветовая плоскость составлена редуцированными красно-зеленой и желто-синей осями. На яркостной плоскости четырехмерного пространства цвета располагаются от самых темных (черный, красный) к самым светлым (желтый, сине-зеленый, синий).

Ранее в опытах на зрительной коре выделено 16 (из 54 исследованных) нейронов (30%) с двумерным яркостным пространством. Клеток с четырехмерным пространством оказалось 12, или 22%. В НКТ из 51 исследованного нейрона 44, или 86% характеризовались как яркостные с двумерным пространством и только 7, или 14% относились к нейронам с четырехмерным цветовым пространством.

Необходимо подчеркнуть, что сенсорные пространства нейронов зрительной коры и НКТ совпали с пространствами, полученными при замене тех же стимулов в поведенческих опытах на кроликах (Полянский и др., 1998) и в опытах с регистрацией зрительных вызванных потенциалов (Полянский и др., 2000). Все это свидетельствует об универсальности векторной теории обработки сенсорной информации в мозге (Соколов, 2003).

Нам казалось интересным провести исследования по замене ахроматических и цветовых стимулов на нейронах верхнего двуххолмия - структуры, входящей в состав зрительной системы кролика. Общепринято, что ВД – среднемозговая структура, служащая для зрительного, мультисенсорного и сенсомоторного процессов (Illing, 1996). Считается, что ВД играет важную роль в сенсомоторной интеграции и ориентировочном поведении. Верхнее двуххолмие классически разделено на поверхностные слои, преимущественно содержащие зрительные нейроны, и глубокие слои, содержащие мультимодальные и премоторные нейроны, играющие важную роль в генерации саккад (Schneider, Kastner, 2005).

Методика

Опыты проведены на пяти европейских кроликах (*Oryctolagus cuniculus*) в возрасте 2-3 лет. Животным за 5-6 дней до опытов под нембуталовым наркозом (40 мг/кг) и местной анестезией (2%-ный новокаин) делали операцию. Для постановки шахты микроманипулятора

над верхним двухолмием в одном полушарии с помощью фрезы прорезали в черепе круглое отверстие диаметром 5 мм (координаты центра $AP = 13,5$, $L = 2,2$). Шахту на черепе закрепляли акриловой пластмассой и заливали стерильной смесью воска с вазелином. Индифферентные электроды вживляли в лобную кость. Механический микроманипулятор крепили в опыте к шахте, экстраклеточное отведение активности нейронов производили вольфрамовыми микроэлектродами с диаметром кончика 1-2 мкм.

В опытах кролика, фиксированного в станке, помещали в экранированную звукоизолирующую камеру на расстоянии 50 см от экрана цветного монитора SVGA (фирма TBM, Тайвань). Регистрацию активности нейронов вели с полушария, контралатерального стимулируемому глазу. Световое раздражение было монокулярным и диффузным, размер экрана монитора 25х20 см.

Потенциалы подавали на предусилитель, затем - на дискриминатор конструкции Ю.Б.Кузнецова. Экспериментальная установка состояла из двух синхронизированных компьютеров, один (PC-AT IBM-386) служил для подачи стимулов, другой (Pentium-4) – для управления экспериментом и обработки результатов исследования. После дискриминации сигналы поступали на аналого-цифровой преобразователь в компьютере Pentium-4.

В опытах использовали восемь попарно сменяющих друг друга разноразных цветовых стимулов: белый, красный, желтый, желто-зеленый, зеленый, сине-зеленый, синий и черный, всего 64 пары (включая замену идентичных стимулов - «самих на себя»).

В других опытах также применяли 64 комбинации стимулов, но это были стимулы одного цвета (белые) различной интенсивности (восемь градаций интенсивности) – от 4 до 19 кд/м². Длительность каждого стимула составляла $1,5 \pm 0,5$ с, каждая пара стимулов применялась в опыте 20 раз. Исследовали в основном нейроны с фазическим разрядом: ранним,

возникающим в диапазоне 50-90 мс от момента смены стимулов и поздним – в диапазоне 120-250 мс от момента смены стимулов. Последующая обработка результатов включала построение для каждого нейрона матриц смещения 8x8, ячейки которых содержали среднее число импульсов в «разрядах различия» (50-90 мс) и позднего разряда при заменах одного цвета другим или одной интенсивности цвета другой. В таких матрицах спайковых реакций каждый цвет (или интенсивность) представлялся вектором (строкой матрицы), составленным из среднего числа спайков в разряде нейрона на стимулы данного цвета (или данной интенсивности) в парах с остальными цветами (интенсивностями). На основе таких матриц строили матрицы корреляций между векторами, которые обрабатывали методом факторного анализа в программе «STADIA» (Россия) для выявления координат векторов в базисных осях яркостного или цветового пространства.

Результаты исследования и обсуждение

Зарегистрированы реакции 93 нейронов ВД, из которых 83 клетки обладали фазическим разрядом.



Рис. 1. Двумерное сенсорное пространство, реконструированное по величинам раннего фазического разряда нейронов ВД. А – при заменах черно-белых стимулов различной интенсивности, усреднено для 7 нейронов. Цифрами указана яркость стимулов, кд/м². Б – при заменах цветовых стимулов, усреднено для 20 нейронов.

Первым этапом работы был анализ ответов нейронов на стимулы различной интенсивности. В результате анализа сенсорных пространств нейронов оказалось, что у 25 нейронов из 83 с фазическим разрядом, или 27% было выявлено двумерное ахроматическое пространство. Существенно заметить, что такое пространство получается только при анализе среднего числа спайков в раннем, первичном разряде (50-90 мс от момента замены стимулов). Для большей наглядности были усреднены отдельно матрицы нейронов с ответами на черно-белые стимулы (рис. 1,А) и на различные цветовые стимулы (рис. 1,Б).

Как можно видеть на рис. 1,А (усреднено по 7 нейронам) черно-белые стимулы разных интенсивностей располагаются в пределах полуокружности от самых малых интенсивностей – к самым высоким. Некоторое несоответствие в группе малых интенсивностей объясняется, видимо, тем, что кролик плохо различает околороговые интенсивности света. В этом сенсорном ахроматическом пространстве выделяются две оси – яркостная и темновая.

Другая большая группа нейронов показала двумерное яркостное пространство в ответах на замену различных цветов. На рис. 1,Б (усреднено по 20 нейронам) хорошо видно, что цвета располагаются по дуге в пределах полуокружности в соответствии с их субъективной яркостью: слева - самые темные цвета (черный и красный), далее группа уравненных по интенсивности цветов (желтый, желто-зеленый, зеленый и белый), справа - самые яркие (сине-зеленый и синий) цвета. Здесь снова выделяются две оси – яркостная и темновая.

При дальнейшем анализе было обнаружено 16 нейронов (из 83 с фазическим разрядом), или 19%, с четырехмерным цветовым пространством, с двумя плоскостями, одна плоскость – цветовая (рис. 2,А), другая – яркостная (рис. 2,Б). На рисунках сенсорные пространства

усреднены по 12 нейронам. Как можно видеть из рис. 2, А, черный и красный цвета, как наименее насыщенные, располагаются близко к центру проекции, сине-зеленый и синий цвета – на конце одной из осей, в конце другой находятся зеленый, желто-зеленый, желтый и белый цвета. Для животных- трихроматов и человека в сенсорном цветовом пространстве характерны красно-зеленая и сине-желтая оси. У кролика, как известно, отсутствует краснопоглощающий пигмент, поэтому цветовые оси деформированы и сдвинуты в сторону зеленого и синего цветов.

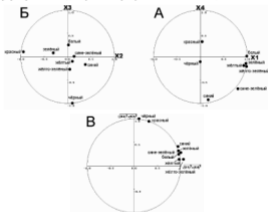


Рис. 2. Проекция цветового пространства, реконструированного по позднему физическому разряду для 12 нейронов ВД на плоскости, образованными выделенными факторами. А – проекция на цветовую плоскость, образованную факторами X1 и X4. Б – проекция на ахроматическую плоскость, образованную яркостным и темновым факторами X2 и X3. В – проекция на комбинарованную плоскость, образованную цветовыми (X1, X4) и ахроматическими (X2, X3) факторами. Эта проекция отражает расположение стимулов в соответствии

с их насыщенностью от наиболее насыщенных (желтый, желто-зеленый, сине-зеленый) к наименее насыщенным (красный, черный).

Две другие оси четырехмерного пространства интерпретируются как ахроматические (рис. 2,Б). Здесь стимулы, имеющие наибольшие координаты на цветовой плоскости (синий, сине-зеленый) располагаются в центре проекции, а черный и красный цвета (ахроматические для кролика) имеют максимальные значения и располагаются на окружности.

На рис. 2,В приведена проекция цветового пространства на комбинированную плоскость, образованную цветовыми (X1 и X4) и ахроматическими (X2 и X3) осями. Такая проекция может отражать насыщенность стимулов. Наиболее насыщенными являются сине-зеленый, желто-зеленый, желтый цвета, наименее насыщенными – черный и красный цвета.

Весьма интересно, что только у 4-х нейронов в этой группе четырехмерное пространство было выявлено для первичного, раннего разряда (50-90 мс от момента замены стимулов), а для подавляющего большинства нейронов (12) - только для вторичного позднего разряда (120-250 мс от момента замены стимулов). Такого явления мы не наблюдали ни в зрительной коре, ни в НКТ, где вся информация о цвете и яркости заключается в раннем, начальном разряде различия. В то же время для двумерных яркостных пространств в ВД вся информация также заключена в раннем разряде. По-видимому, для производства саккад и других функций ВД необходима прежде всего ранняя информация об интенсивности стимула, о его появлении в поле зрения. Что же касается цветовой информации, то она, в основном, видимо, приходит уже обработанной из зрительной коры и не столь информативна для нейронов ВД.

В целом же цветовые и ахроматические пространства нейронов ВД оказались изоморфными с аналогичными пространствами нейронов зрительной коры и НКТ, получавшими ту же программу стимуляции, что подтверждает гипотезу Е.Н.Соколова (2003) о векторном кодировании сенсорной информации в мозге животных и человека.

Библиография:

Полянский В.Б., Евтихин Д.В., Соколов Е.Н. Реконструкция перцептивного пространства яркости и цвета кролика на основе зрительных потенциалов и их сравнение с данными поведенческих опытов // Журнал высшей нервной деятельности. 2000. Т. 50. № 5. С. 843-854.

Полянский В.Б., Евтихин Д.В., Соколов Е.Н. Вычисление цветовых и яркостных различий нейронами зрительной коры кролика // Журнал высшей нервной деятельности. 2005. Т. 55. № 1. С. 60-70.

Полянский В.Б., Евтихин Д.В., Соколов Е.Н., Алымкузов Д.Э. Вычисление цветовых и яркостных различий нейронами наружного коленчатого тела кролика // Журнал высшей нервной деятельности. 2006. Т. 56. № 1. С. 75 -85.

Полянский В.Б., Соколов Е.Н., Марченко Т.Ю., Евтихин Д.В., Рудерман Г.Л. Перцептивное цветовое пространство кролика // Журнал высшей нервной деятельности. 1998. Т. 48. № 3. С. 496-504.

Соколов Е.Н. Восприятие и условный рефлекс. Новый взгляд. М.: УМК «Психология», 2003.

Illing R.B. The mosaic architecture of the superior colliculus // Prog. Brain Research. 1996. V. 112., P. 17-34.

Schneider K.A., Kastner S. Visual responses of the human superior colliculus: a high-resolution functional magnetic resonance imaging study // Journal of Neurophysiology. 2005. V.94, № 4. P. 2491-2503.

О физиологической основе индивидуальной variability психофизических шкал

Аннотация. Рассматриваются причины индивидуальных различий в психофизическом указывании стимулов разной интенсивности. Приводятся результаты экспериментальных исследований решения проблемы на основе сопоставления у одних и тех же лиц объективных физиологических реакций (ВР, КТР, ВП) и психологических показателей при действии звуковой стимуляции в диапазоне от 40 до 120 дБ от уровня 0,0002 бара и от абсолютного индивидуального слухового порога до 120 дБ. Показаны особенности указывания ощущений громкости звуков в зависимости от силы нервной системы.

Одной из фундаментальных проблем психологии чувственного познания издавна являлась проблема измерения ощущений или количественной связи между интенсивностью раздражителя, воздействующего на определенный орган чувств, и величиной (силой) вызываемого им ощущения. Интерес к этому вопросу возник еще в 18 в. (Крамер, Бернулли, Крюгер), но проблема была четко поставлена Г. Фехнером в его известной книге «Элементы психофизики» (1860), положившей начало специальной области психологии – психофизики. С помощью разработанных классических пороговых методов измерения ощущений Г. Фехнер сформулировал зависимость между интенсивностью физического стимула и силой ощущения в логарифмической форме – сила ощущений пропорциональна логарифму интенсивности раздражителя и придал этой зависимости статус основного психофизического закона. В современной психофизике в результате многочисленных экспериментов с помощью прямых методов шкалирования стимулов и оценки стимулов ощущений самых разных сенсорных модальностей С. Стивенсом был

предложен степенной психофизический закон: величина ощущения пропорциональна силе раздражителя, возведенной в некоторую степень.

Применение прямых методов выявило большие индивидуальные различия в степени крутизны – пологости субъективных психофизических шкал во всех модальностях ощущений при увеличении интенсивности стимуляции: от 0,40 до 1,10 для громкости звуков; от 0,78 до 1,19 для длины горизонтальных линий; от 1,30 до 3,48 для силы сжатия руки; от 1,26 до 1,75 для поднимаемого веса; от 1,11 до 1,97 для ощущений солёного; от 1,33 до 1,98 – сладкого; от 0,8 до 3,5 для шероховатости; от 0,8 до 3,0 – для гладкости (Ekman et al., 1967). Это обстоятельство было одним из серьезных аргументов критики методологии психофизики С. Стивенса со стороны французской школы психологов (Пьерон, 1966), но именно оно положило начало новому аспекту исследований в психофизике, направленному на изучение возможных причин большой индивидуальной вариативности психофизических шкал. Вопрос о причинах и природе вариативности результатов, наблюдаемых при шкалировании ощущений, стал предметом исследований многих зарубежных авторов.

Важным этапом на пути выяснения природы этих индивидуальных различий стали исследования, в которых было показано, что больший или меньший рост силы ощущений – не артефакт, не случайность, а является достаточно устойчивой индивидуальной характеристикой, распространяющейся на ощущения разных модальностей: обнаружались значимые коэффициенты корреляций (0,290 – 0,756) между показателями степенных функций роста ощущений в разных (от 2 до 6) континуумах стимулов (Экман и др., 1967; Ризон, 1968).

Обсуждая вопрос о возможных причинах межмодальной устойчивости индивидуальных характеристик крутизны – пологости субъективных психофизических шкал, большинство авторов, в том числе и

сам С. Стивенс, указывали на возможность двух основных источников, выраженных Г. Экманом в виде двух факторов, выявленных на основе факторизации матрицы интеркорреляций: один – как проявление различных концепций числовой оценки, второй, названный перцептивным, – как выражение подлинных различий в субъективной силе ощущений.

Наряду с этим, в другом большом цикле исследований зарубежных авторов было выдвинуто представление о двух типах людей – «увеличителях» и «уменьшителях» – склонных либо усиливать, либо ослаблять воспринимаемую стимуляцию. (Buchsbaum, 1976; Petrie et al, 1960).

Стремясь проникнуть в глубь природы индивидуальных различий в психофизическом шкалировании, зарубежные авторы пытались соединить психофизику с психофизиологией: в двух работах были получены небольшие, но значимые корреляции (0,251 и 0,450) между ростом субъективной громкости звуков при увеличении их интенсивности и степенью уменьшения времени реакции (BP) на те же звуки (Reason, 1968; Sales, Throop, 1972). Однако зарубежные авторы не продвинулись далеко в решении вопроса природы индивидуальных различий в субъективных психофизических шкалах силы ощущений стимулов тех или иных модальностей.

В своих исследованиях мы поставили задачу раскрыть сущность перцептивного фактора в индивидуальной вариабельности психофизических шкал на физиологическом уровне, предположив, что ответ на этот вопрос может быть положен при объединении соответствующих психофизических данных с близкими по смыслу данными, накопленными в дифференциальной психофизиологии и физиологии высшей нервной деятельности. Для постановки такой задачи имелись основания, предпосылки высокого уровня – достижения в этих науках отечественных школ исследователей – И.П. Павлова и Б.М.

Теплова – В.Д. Небылицына и др. и имевшиеся в психофизиологической литературе данные о значительных индивидуальных различиях в ответах организма на стимулы возрастающей интенсивности по многим психологическим и физиологическим показателям: времени сенсорных реакций, амплитуде кожно-гальванических реакций (КГР), амплитуде вызванных потенциалов (ВП), степени роста экскреции катехоламинов – адреналина и норадреналина – при увеличении напряженности мышечной работы, в выраженности компенсаторных, защитных, иммунологических реакций животных на различные по силе воздействия такого рода как голодание, кровопотеря, физическая нагрузка, введение больших доз токсина и др., природу которых в отечественной психофизиологии принято связывать с типологическими различиями в силе нервной системы.

Осуществление замысла наших экспериментальных исследований потребовало внести существенные уточнения и большую ясность в понимание диагностического смысла двигательной методики В.Д. Небылицына по определению силы нервной системы по степени уменьшения ВР на звуковые стимулы при увеличении их интенсивности, т.е. наклону кривой ВР к оси абсцисс (отношению $ВР_{\max}/ВР_{\min}$), которое больше у лиц с сильной нервной системой и меньше у лиц со слабой Н.С.

Проведенный Н.И. Чуприковой (1976) теоретический анализ этой методики и фактических данных, полученных при ее применении в спортивной практике, привел к выводу о важном диагностическом значении в этой методике не только ВР на слабые стимулы, как считал В.Д. Небылицына, но и на стимулы большой интенсивности. Предполагалось, что укорочение ВР при усилении стимуляции характеризует силу Н.С. в прямом смысле слова, как ее большую или меньшую способность к усилению возбуждения при увеличении

стимуляции – способность продуцировать большую «энергию» или «мощность» нервного возбуждения (в смысле вовлечения большего числа реагирующих нейронов и продуцирования более высокой частоты их разрядов), чем слабая. Значимость в диагностической методике В.Д. Небылицына ВР на стимулы большой интенсивности привело к мысли, что индивидуальные различия в степени усиления нервного возбуждения при увеличении стимуляции и в его силе при восприятии наиболее интенсивных сигналов должны находить более или менее сопряженное выражение как в объективных показателях (ВР, КГР, ВП), так и в субъективных показателях силы ощущений при восприятии стимулов разной интенсивности, которые могут быть получены методом их прямых оценок по С. Стивенсу.

В исследованиях проводилось сопоставление у одних и тех же испытуемых физиологических реакций (ВР, КГР) и психологических показателей при действии звуковой стимуляции в диапазоне от 40 до 120 дБ от уровня 0,0002 бара и от абсолютного индивидуального слухового порога до 100 дБ, а также находили показатели силы Н.С.

Время реакций измерялось на звуки пяти интенсивностей (40,60,80,100,120 дБ), предъявлявшихся в случайном порядке (по 15 раз каждой интенсивности). При появлении стимула испытуемый должен был максимально быстро нажать большим пальцем правой руки на кнопку (время реакции измерялось в миллисекундах).

Субъективными показателями являлись индивидуальные оценки испытуемых громкости звуков, которые были получены в форме: 1) числовой (балльной) оценки; 2) эмоциональной оценки громкости (звуки безразличные, приятные, неприятные, болезненно невыносимые); 3) кроссмодального выражения громкости звуков в мышечном усилии и в сопоставлении с длиной линий.

Субъективную (количественную) оценку предъявленного звука испытуемый делал наиболее подходящим числом, исходя из отношения по громкости между предъявленным и стандартным звуком (эталон в 80 дБ), которому экспериментатор до опыта приписывал число 10 и который показывался 3 раза только в начале опыта (в первых исследованиях) и дополнительно в середине опыта (в последующих исследованиях в случаях забывания громкости эталонного звука) и который в дальнейшем предъявлялся наряду с другими звуками.

При вербальной эмоциональной оценке звуков пяти интенсивностей испытуемый выбирал из ряда предложенных экспериментатором определений (или дополнял своими определениями) одно, наиболее подходящее, в зависимости от интенсивности ощущений громкости: звук безразличный, приятный, слегка неприятный, определенно неприятный, очень неприятный, невыносимый, болезненный. Используемый кроссмодальный невербальный метод требовал от испытуемого выражать соответствующую громкость звука через усиление, прикладываемое им к динамометру, и через длину линии, начерченную на бумаге.

Степень роста силы ощущений при усилении громкости звуков оценивалась отношением максимальной балльной оценки звука 120дБ к минимальной балльной оценке звука 40 дБ (балл 120 дБ / балл 40 дБ).

Объективными физиологическими показателями при действии тех же звуков были ВР, КТР, а в одном из экспериментов вызванные потенциалы (ВП) мозга (опыты А.В. Лысенко).

Степень роста силы возбуждения оценивалась по производным показателям: ВР 40 дБ / ВР 120 дБ; КТР 120 дБ / КТР 40 дБ; ВП 120 дБ / ВП 40 дБ.

По всем использованным показателям (прямым и производным) на звуковые стимулы, взятыми как от стандартного, так и от индивидуального порога, обнаружены большие индивидуальные различия и много значимых

корреляций между субъективными и объективными показателями (Ратанова, 1990, 2002).

В исследовании установлено, что лица с более сильной нервной системой имеют более крутые психофизические шкалы громкости, характеризуются большим ростом амплитуды КГР и ВП на стимулы возрастающей интенсивности, чем лица со слабой нервной системой. Субъективная оценка громкости интенсивных звуков 100 и 120 дБ и абсолютные значения КГР и ВП на эти звуки выше у лиц с сильной нервной системой, чем у «слабых», а значения ВР на эти звуки у «сильных» короче, чем у «слабых». В то же время в диапазоне звуков от 40 до 80 дБ все отношения являются обратными: испытуемые со слабой нервной системой здесь превосходят «сильных». Выявилась также разная динамика изменения этих показателей на стимулы от меньшей до самой большой интенсивности у лиц с равной силой НС. У лиц с сильной НС эти показатели возрастают от 1,50 до 37,77 раза, а у лиц со слабой НС. – от 1,27 до 22,05 раза в разных показателях.

Результаты изучения эмоционального восприятия звуков разной громкости лицами с разной силой нервной системы отчетливо продемонстрировали разный характер оценки, сходной с особенностями количественной (числовой) оценки громкости этих звуков. Выявлена общая закономерность: эмоциональные оценки разной громкости звуков как безразличных сменяются оценкой как приятных и далее как неприятных, очень неприятных и болезненно – невыносимых. При этом у «сильных» индивидов наблюдается тенденция к тому, что эта закономерность при увеличении стимуляции наступает раньше, а у «слабых» – позднее, т.е. у лиц с сильной нервной системой возбуждение раньше достигает зоны неприятных болевых ощущений и эмоционального дискомфорта, чем у «слабых».

В нашем исследовании впервые обнаружен факт большой важности для дифференциальной психофизиологии и ее приложимости в различных областях практики и диагностики — наличие лучшей громкостной различительной чувствительности у лиц со слабой нервной системой в области припороговой интенсивности звуков и худшей громкостной различительной чувствительности в области высокой интенсивности звуков. У индивидов с сильной нервной системой наоборот — лучшей различительной громкостной чувствительности в области звуков высокой интенсивности и худшей — звуков низкой интенсивности.

В исследовании абсолютной громкостной чувствительности получены следующие факты.

Выявилась определенная, но статистически незначимая тенденция к более высокой чувствительности у «слабых» и более низкой у «сильных». Вместе с тем, обнаружились две особые группы испытуемых: лица со слабой НС, но с низкой абсолютной чувствительностью и лица с сильной НС, но с высокой чувствительностью к слабым раздражителям, то есть и высокой, и низкой абсолютной слуховой чувствительностью могут обладать как индивиды с сильной, так и со слабой нервной системой, хотя имеется тенденция к большей абсолютной чувствительности «слабых». (Ратапова, 1990; 2002).

Один из основных полученных нами результатов состоит в том, что, несмотря на использование децибелльной шкалы интенсивности звуков, выраженных в единицах от индивидуального абсолютного слухового порога, полностью сохранились очень существенные индивидуальные различия и в наклоне кривых ВР, и в росте субъективной громкости звуков в диапазоне от 20 до 100 дБ над индивидуальным порогом.

На основании экспериментальных данных по ВР, КТР и субъективной оценке громкости звуков, выраженной в количественной (числовой) и невербальной (кроссмодальной) форме и в форме

эмоциональной оценки, физиологическая модель функционирования нервных систем, различающихся типологическим свойством силы — слабости по возбуждению характеризуются следующими особенностями: исходное возбуждение и возбуждение на низкие по интенсивности звуковые стимулы (20, 40 дБ от индивидуального абсолютного порога или 40, 60 дБ от стандартного порога в 0,0002 бара) выше в слабой нервной системе и ниже — в сильной. Начиная со средних по интенсивности стимулов и особенно на самые интенсивные звуковые стимулы (100 дБ от индивидуального порога или 120 дБ от стандартного порога) уровень (мощность) возбуждения в сильной и слабой нервной системе становится противоположным: значительно больше в сильной нервной системе, чем в слабой. Поэтому рост возбуждения от порога до максимальной интенсивности звуков также значительно больше в сильной нервной системе, чем в слабой.

Библиография:

Небылицын В.Д. Основные свойства нервной системы человека. М., 1966.

Ратанова Т.А. Субъективное шкалирование и объективные физиологические реакции человека. М.: Педагогика, 1990.

Ратанова Т.А. Психофизическое шкалирование и объективные физиологические реакции у взрослых и детей. М.: Московский психолого-социальный институт; Воронеж, 2002.

Чуприкова Н.И. Об уточнении физиологического смысла и стандартизации двигательной методики В.Д. Небылицына по определению силы нервной системы // Психофизиологические вопросы становления профессионала. М., 1976.

Ekman G., Hosman J., Lindman R., Ljungberg L., Akesson C. Interindividual differences in magnitude estimation behavior // *British Journal of Psychology*, 1974. V. 65. Pt. 1. P. 85-91.

Reason J. T. Some correlates of the loudness function // *Journal of Sound and Vibration*. 1972. Vol. 20. № 3.

Sales S.M., Throop W. T. Relationship between kinesthetic after-effects and strength of the nervous system // *Psychophysiology*. 1972. Vol. 9. № 5.

СЕЛИВАНОВА Л.А., СКОТНИКОВА И.Г.

**Использование феномена привыкания для изучения
различительной хемочувствительности рыб**

Аннотация. Использование методики тестирования, построенной на основе феномена привыкания, впервые позволило на поведенческом уровне определить дифференциальную хемочувствительность наивных рыб и их способность различать химически неразличимые оптические изомеры аминокислот.

Феномен привыкания или габитуации проявляется в постепенном уменьшении реакции живых организмов на монотонно применяемые идентичные стимулы. Привыкание является простейшей формой научения, это универсальный феномен, описанный для всех животных, начиная с одноклеточных (Тушмалова, 1986, 1987). Любое изменение условий стимуляции приводит к дегабитуации (исчезновению привыкания), т. е. к быстрому восстановлению исходной силы реакции. Это свойство нашло применение в методе, известном под названием «habituation-discrimination test», где сначала при неоднократном последовательном предъявлении одинаковых стимулов наблюдается угасание ориентировочно-

исследовательской реакции (ОИР) - фаза привыкания, а затем восстановление ОИР на новый, незнакомый стимул – фаза различения. Данный тест широко применяется при изучении способности младенцев распознавать акустические и визуальные стимулы (напр., в работе Bornstein et al., 1976, где с помощью такого теста выявлена способность 4-месячных младенцев различать оттенки цветов), а также способности наземных млекопитающих различать обонятельные стимулы от разных доноров (Schultze-Westrum, 1969; Halpin, 1974, 1986; Карасёва и Васильева, 2005; Литвинова и Васильева, 2005). Привыкание свойственно и рыбам. Так, у золотой рыбки, плотвы, головля, трёхиглой колюшки и гуппи наблюдается привыкание к акустическим и визуальным стимулам, вызывающим ориентировочную реакцию, а также реакции испуга или агрессии (Rodgers et al., 1963; Russel, 1967; Peeke, 1969; Laming & Savage, 1978, 1980; Laming & Hornby, 1981; Laming & McKee, 1981; Laming & Ennis, 1982;). У русского осетра и бестера также было отмечено привыкание при стимуляции электрорецепторной системы (Солуха и др., 1989). Однако до сих пор привыкание не использовалось для изучения способности **рыб** различать химические стимулы.

Вместе с тем для многих видов рыб способность различать химические стимулы жизненно необходима. Для выбора нерестового ручья и полового партнёра, для обнаружения потенциальной жертвы (корма) или потенциального хищника (опасности) рыбы должны хорошо различать химические стимулы сходного качества. Для направленного перемещения относительно источника химического сигнала рыбы должны хорошо ориентироваться в градиенте этого сигнала, то есть быть чувствительными к малым изменениям (приращению или убыванию) количества (концентрации) сигнала.

В настоящей работе для изучения способности рыб различать химические стимулы сходного качества или близких концентраций (т.е.

для изучения дифференциальной чувствительности) впервые применялась методика, основанная на использовании феномена привыкания (Selivanova, 2002) и являющаяся версией оригинальной «методики измерения чувствительности, ориентированных перемещений и специализированных поведенческих актов рыб в полях химических раздражителей», разработанной Б.В. Солухой (1989) с целью «адаптации и практического применения психофизических методов (в частности, метода констант) для решения ихтиологических задач».

В качестве химических стимулов были выбраны биологически значимые для рыб органические соединения – отдельные аминокислоты, а также многокомпонентные спиртово-водные экстракты из привычного для осетрят корма (дафнии) и из экскрементов осетрят. В число компонентов экстрактов входят аминокислоты, желчные кислоты, пептиды, стероиды, углеводы, липиды и другие классы органических соединений.

В качестве объекта исследования была выбрана наивная, то есть не подвергавшаяся обучению и экспонированию молодь русского осетра *Acipenser gueldenstaedtii* Brandt. Тестирование нескольких групп рыб (по три группы в каждый сезон работ) проводилось на Александровском ОРЗ (Астраханская область, дельта Волги) в условиях, максимально приближенных к природным. Выбор объекта обусловлен следующими основаниями: а) у молоди осетра в раннем онтогенезе хемосенсорные системы формируются и начинают функционировать раньше других сенсорных систем; б) осетрам свойствен хоминг - нерестовая миграция из открытого моря или крупного пресноводного водоёма именно в тот ручей, где они родились, направляемая характерными для каждой реки (или для популяции, обитающей в этой реке) химическими стимулами; в) при отыскании пищи главными ориентирами для осетров служат химические сигналы; г) осетры не образуют стай, им не свойственно подражательное

поведение и в силу этого они проявляют своё индивидуальное отношение к стимулу, не зависимо от других особей в группе (Сбикин, 1984).

Молодь осетра с момента вылупления до возраста 100 дней жила и тестировалась в трёх одинаковых по форме и размерам лотках с постоянным осевым протоком природной волжской воды. На начало периода тестирования в лотках было по 1000 особей предличинки, а в конце – по 62-63 особи мальков. С момента перехода на внешнее питание, т. е. становясь личинкой, молодь осетра в норме (в промежутках между тестированием и кормлением) плавает по периметру (равным образом по часовой или против часовой стрелки), регулярно пересекая зону втока проточной воды и затрачивая на один «обход» в зависимости от онтогенеза и скорости плавания 30-45 секунд. При этом на проход в зоне втока уходит в среднем 3 секунды. Эти параметры учитываются в методике тестирования.

Использован психофизический метод констант с процедурой «Одинаковые-Разные» («same-different»). Применялись два типа предъявления стимулов: одинаковые – последовательное предъявление двух одинаковых порций одного и того же стимула «А» и разные – последовательное предъявлением одинаковых порций двух разных стимулов «А» и «Б». Стимулы «А» и «Б» отличались либо по качеству, либо по концентрации. В одном экспериментальном цикле (за один рабочий сезон) для каждой пары стимулов сделано по 6 предъявлений одинаковых и разных стимулов (по 2 на каждом из 3-х лотков). С каждой парой стимулов проведено по 2-4 таких цикла.

Для решения поставленных задач рыбам предъявляли различные биологически значимые для них химические стимулы, а именно: 12 отдельных аминокислот (АК) разных химических типов и изомерии и 5 многокомпонентных природных стимулов.

1) При изучении качественного распознавания стимулов предъявлялось 5 качественно разных стимулов - изомеров двух разных АК в эквимольной концентрации 10^{-4} М. Качественно близкие стимулы предъявлялись попарно в прямом и обратном порядке (всего 6 пар).

2) При измерении дифференциального порога (ДП) для природного фона предъявлялись 9 качественно разных АК. Для каждой из АК заранее была определена её концентрация в природном фоне и относительно этого фона был выбран диапазон изменения концентрации данного стимула. Верхняя граница диапазона всегда составляла 10^{-4} М, что было явно отличным от природного фона для всех АК. Нижняя граница диапазона для каждой АК была на 3-4 порядка ниже природной фоновой концентрации. Таким образом, для разных АК предъявлялось от 9-ти до 13-ти градаций (констант) этого стимула с шагом в 1 порядок.

3) При измерении ДП для искусственных фонов в качестве таковых предъявлялись 5 АК и 2 многокомпонентных стимула разной концентрации в диапазоне, симметричном относительно природного фона (вверх и вниз на 3-4 порядка). По отношению к этим фонам определялись ДП. Одноимённые стимулы предъявляли в виде прибавок или отбавок, величина которых составляла от 0.01% (реже - 0.001%) до 10% от фона. Таким образом, стимулы предъявлялись в 4-х (реже - 5-ти) их концентрациях (константах) с шагом в 1 порядок.

В течение каждого экспериментального дня проводилось три блока опытов (утром, днём и вечером). В каждом блоке предъявлялось по 5-6 различных пар стимулов типа «одинаковые». Каждой из них соответствовала пара стимулов типа «разные». Опыты по качественному распознаванию стимулов и по измерению ДП на природном и искусственном фонах чередовались в случайном порядке.

Каждое предъявление стимула осуществлялось непрерывно и равномерно в течение 150 секунд, вслед за ним без перерыва тем же

порядком осуществлялось предъявление второго стимула в паре (того же - в паре «одинаковые» или другого - в паре «разные»).

За эти 150 секунд экспериментатор проводил по 50 3-секундных наблюдений, во время которых подсчитывалось число рыб в тестовой зоне лотка. Таким образом, каждое предъявление включало 50 проб, а пара предъявлений – 100 проб. Каждый блок состоял из 1000-1200 проб, а экспериментальный день – из 3000-3600 проб. Экспериментальный цикл (сезон) включал 60 экспериментальных дней, то есть 180 000-216 000 проб, а 4 экспериментальных цикла (сезона) включали 720 000-864 000 проб.

В качестве ответной реакции регистрировалось число рыб в фиксированной по форме и размерам тестовой зоне у места подачи стимула в экспериментальный лоток. На протяжении 150-ти секунд каждая рыба пересекает тестовую зону, то есть встречается с поступающим в лоток стимулом в его исходной концентрации от 3-х до 5-ти раз. При первой встрече с данным стимулом рыбы прерывают равномерное движение по периметру лотка и на некоторое время задерживаются в тестовой зоне, за счёт чего плотность скопления рыб в тестовой зоне становится выше обычной. При втором и последующих заходах в тестовую зону на протяжении интервала подачи одного и того же стимула задержки рыб в тестовой зоне становятся короче, а плотность скопления, соответственно, плавно снижается. В пробе типа “same” снижение плотности скопления рыб в тестовой зоне продолжается и на 2-ом интервале подачи того же стимула. В таком случае повторное увеличение числа рыб в тестовой зоне на 2-ом интервале предъявления в пробе типа «разные» служило показателем того, что стимулы «А» и «Б» различались.

Протоколы велись отдельно для каждой пробы, результаты обрабатывались статистическими методами с использованием критерия Неймана-Пирсона, критерия λ Колмогорова-Смирнова и критерия знаков

(подробнее см. Солуха, 1989; Селиванова и др., 1989; Selivanova, 2002), а также коэффициента корреляции Пирсона.

Полученные результаты сопоставлены с литературными данными об ОДП для других сенсорных систем у осетровых рыб и других животных и даже растений, в частности для: электрорецепторной системы осетра и бестера, слуховой системы (по частоте акустического сигнала) у рыб, имеющих плавательный пузырь и Веберов аппарат, и у тех рыб, чей слуховой аппарат не имеет связи с плавательным пузырём; обоняния, вкуса и ощущения давления у человека; обоняния у собак; фототропизма и хемотаксиса у растений.

Примененный методический подход, основанный на одновременном использовании адаптированного к ихтиологическим задачам классического психофизического «метода констант» и феномена привыкания позволил впервые на поведенческом уровне определить для водных животных (на примере рыб) пределы различения химических веществ по их качеству и количеству. При удачном выборе реакции-индикатора этот подход можно применять и к решению аналогичных задач с использованием в качестве объектов исследования беспозвоночных обитателей водной среды, например, ракообразных. (В целом проблематика исследования, его задачи и результаты представлены в отдельном сообщении в этом сборнике).

Поскольку у человека ведущими сенсорными модальностями стали зрение и слух, исследования его чувствительности сосредоточены преимущественно на них. Вместе с тем, обоняние выделившееся из общей исходной хемочувствительности, остается важнейшей модальностью у многих классов позвоночных (в частности, у млекопитающих), в связи с чем для них актуально его изучение. Для человека обоняние менее изучено, чем зрение и слух однако известно, что межиндивидуальная вариативность реагирования на запахи на порядок основной

модальностью, тем не менее обнаруживает чрезвычайно выраженную индивидуальную избирательность. Поэтому в перспективе актуален сравнительно-психологический аспект изучения хемочувствительности у позвоночных (от рыб до человека).

Библиографии:

Карасёва Е.В., Васильева Н.Ю. Реакция на двухкомпонентные запаховые метки у самцов джунгарского хомячка // Поведение и поведенческая экология млекопитающих. Материалы научной конференции / М.: ИПЭЭ им. А.Н.Северцова РАН. Товарищество научных изданий КМК. 2005. С.186-188.

Литвинова Е.М., Васильева Н.Ю. Распознавание пола и физиологического состояния самок по хемосигналам мочи у самцов джунгарского хомячка с различными аналитическими способностями // Поведение и поведенческая экология млекопитающих. Материалы научной конференции / М.: ИПЭЭ им. А.Н.Северцова РАН. Товарищество научных изданий КМК. 2005. С.188-191.

Сбикин Ю.Н. Проблемы изучения поведения осетровых // Экологические аспекты поведения рыб / Под ред. Б.П. Мантейфеля. М.: Наука. 1984. С.46-54.

Селиванова Л.А., Суханова М.Э., Гроня Л.И., Агрба М.А., Павлов Д.С., Солуха Б.В. Реакция форели и объекта её питания – бокоплавов на специфические химические раздражители // Хемочувствительность и хемокоммуникация рыб / Под ред. Д.С. Павлова. М.: Наука. 1989. С.131-151.

Солуха Б.В. Методы измерения чувствительности, ориентированных перемещений и специализированных актов рыб в полях химических раздражителей // Хемочувствительность и хемокоммуникация рыб / Под ред. Д.С. Павлова. М.: Наука. 1989. С.5-97.

Солуха Б.В., Гроня Л.И., Никольская М.П. Абсолютные и дифференциальные пороги чувствительности электрорецепторной системы осетровых рыб // Морфология экология и поведение осетровых / Под ред. Д.С. Павлова, Ю.Н. Сбикина. М.: Наука. 1989. С.170-185.

Тушмапова Н.А. Функциональные механизмы приобретённого поведения у низших беспозвоночных // М: МГУ. 1986. 109с.

Тушмапова Н.А. Основные закономерности эволюции поведения беспозвоночных // Физиология поведения: нейробиологические закономерности / Под ред. А.С. Батуева. Л.: Наука. 1987. С.236-264.

Bornstein M.H., Kessen W., & Weiskopf S. The categories of hue in infancy // Science. 1986. V.191, №4223. P.201-202.

Halpin Z.T. Individual differences in the biological odors of the Mongolian gerbil (*Meriones unguiculatus*) // Behav. Biol. 1974. V.11. P.253-259.

Halpin Z.T. Individual odors among mammals: origins and functions // Advances in the study of behavior. 1986. V.16. P.39-70.

Laming P.R. & Ennis P. Habituation of fright and arousal responses in the Teleosts *Carassius auratus* and *Rutilus rutilus* // Journal of Comp. & Physiol. Psychol. 1982. V.96. P.467-475.

Laming P.R. & Hornby P. The effect of unilateral telencephalic lesions on behavioral arousal and its habituation in the roach, *Rutilus rutilus* // Behavior & Neural Biology. 1981. V.33. P.59-65.

Laming P. R. & McKee M. Deficits in habituation of cardiac arousal responses incurred by telencephalic ablation in goldfish, *Carassius auratus*, and their relation to other telencephalic function // Journal of Comp. & Physiol. Psychol. 1981. V.95. P.460-467.

Laming P.R. & Savage G.E. Flow changes in visceral blood vessels of the chub (*Leuciscus cephalus*) during behavioural arousal // Comp. Biochem. & Physiol. 1978. V.59A. P.291-293.

Laming P.R. & Savage G.E. Physiological changes observed in the goldfish (*Carassius auratus*) during behavioral arousal and fright // *Behav. & Neural Biol.* 1980. V.29. P.255-275.

Peeke H.V.S. Habituation of conspecific aggression in the three-spined stickleback (*Gasterosteus aculeatus*) // *Behaviour*. 1969. V.35. P.137-156.

Rodgers W.L., Melzack R. & Segal J.R. "Tail flip response" in goldfish // *J. Comp. & Physiol. Psychol.* 1963. V.56. P.917-923.

Russell E.M. Changes in the behaviour of *Lebistes reticularis* upon repeated shadow stimulus // *Animal Behaviour*. 1967. V.15. P.574-585.

Schultze-Westrum T.G. Social communication by chemical signals in flying phalangers *Petaurus breviceps papuanus* // *Olfaction and Taste III* / ed. C. Pfaffman. New York: Rockefeller Univ. Press. 1969. P.268-277.

Selivanova L.A. Differential chemosensitivity of naive young russian sturgeon // *Fechner Day 2002* / Eds. Da Silva J.H., Matsushima E.H. & Ribeiro-Filho N.P. Rio de Janeiro. 2002. P.520-525.

СЕЛИВАНОВА Л.А., СКОТНИКОВА И.Г.

Различительная хемочувствительность рыб

Аннотация. Комплексное экспериментальное исследование, проведённое с применением методов психофизики и аналитической гидрохимии, на примере наивной молоди русского осетра позволило определить, когда возникает, от чего зависит, каких пределов достигает и как связана с фоном хеморазличительная чувствительность рыб.

Зоопсихологические исследования чувствительности (психофизика животных - animal psychophysics) представлены в материалах целого ряда ежегодных конференций Международного Общества по психофизике:

«Fechner Day», в частности, последних лет: 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, и в журнале «Perception and Psychophysics» (P&P), издаваемом данным Обществом.

Для животных одной из ведущих сенсорных модальностей является хемочувствительность наряду со зрением и слухом, ставшими приоритетными у человека. Однако среди названных материалов довольно редки исследование хемочувствительности. Так статьи в P&P за 1994-2004 гг., посвящённые изучению обнаружения (detection), распознавания (recognition), различения по качеству (discrimination) и восприятия (perception) химических веществ, составляют только 2%. Ещё меньше (порядка 0.8%) в этот период в P&P работ, где объектом психофизических исследований были животные, а статьи об их хемочувствительности и вовсе отсутствуют. Отчасти это объясняется традицией публиковать подобные работы в многочисленных изданиях зоологического профиля, а также в специализированных журналах “ Chemical ecology” и “Chemical senses”. В последнем психофизическим проблемам посвящено около 20% статей и из них на долю животных приходится более 20%. Среди объектов исследований встречаются обезьяны, лемуры, собаки, грызуны, цыплята, водные и наземные беспозвоночные, но большая часть работ (половина) посвящена хемочувствительности рыб.

Рыбы – древнейшие позвоночные животные и поэтому для многих видов рыб главным каналом связи с сородичами и окружающим миром является наиболее филогенетически древний канал – химический. Хемокоммуникация для рыб является чрезвычайно биологически значимой, т.к. на ее основе осуществляется большинство форм их поведения: пищевое, оборонительное, репродуктивное, родительское, ориентация при миграциях.

Хемокоммуникация рыб обеспечивается путем выделения в воду химических веществ: свободных аминокислот (САК), аминов, углеводов,

стероидов - компонентов желчи и половых феромонов. Рыбы предпочитают определённый вид кормовых организмов среди многих очень сходных с ним. Для многих видов рыб (осетровых, лососевых и др.) характерен хоминг – нерестовая миграция из открытого моря или крупного пресноводного водоёма именно в тот ручей, где они появились на свет, хотя химический состав предпочитаемой воды родного ручья чаще всего очень сходен с таковым из соседних ручьёв. В основе этих предпочтений лежит природная способность рыб различать очень *близкие по качеству* вещества.

В крупных водоёмах за счёт большого объёма воды или проточности вода имеет достаточно постоянный *фоновый* химический состав, и рыбам необходимо значимый химический сигнал выделить из фонового шума. Такой сигнал в водной среде распространяется от источника за счёт протока или диффузии, что создает градиент концентрации сигнала. Чтобы ориентироваться в этом градиенте и находить источник сигнала, рыбы должны обладать хорошей дифференциальной чувствительностью к *количественным изменениям концентрации* одних и тех же веществ. Таким образом, рыбам жизненно важно обладать способностью различать химические сигналы по качественным и количественным характеристикам. С целью управления поведением рыб человеку необходимо из множества растворённых в воде веществ выделить «ключевые», а для этого основными критериями опять же служат явное предпочтение по качеству и более высокая чувствительность по сравнению с таковой к веществам сходного качества. Этим определяется тематика огромного (около 200) работ, в частности, вошедших в обзор «Odor psychophysics in vertebrates» (Passe & Walker, 1985), и публикаций последних 20 лет. В заголовках и текстах этих работ неизменно повторяются два ключевых слова «discrimination» (в смысле «различение по качеству») и «sensitivity» (чувствительность). В работах по «различению по качеству», где

используется наглядный метод парного (реже – множественного) выбора или регистрация физиологических показателей, результат действительно свидетельствует о способности рыб различать вещества сходного качества и остаётся только выяснить пределы этой способности в максимально близких к естественным условиям опыта. Исследования чувствительности ведутся в двух основных направлениях: а) определяются и сравниваются пороговые концентрации различных веществ, б) определяется интенсивность реакций на различные вещества, предъявляемые в одинаковой концентрации, ответы ранжируются по величине этого показателя, и ранжированный ряд, именуемый «относительная стимуляторная эффективность» (*relative stimulatory effectiveness - RSE*) - рассматривается как показатель сравнительной чувствительности к соединениям из этого ряда. При предъявлении природных веществ на искусственном фоне, в котором они отсутствуют, либо искусственных соединений, отсутствующих в природном фоне, в первом случае определяются и сравниваются пороговые концентрации (абсолютная чувствительность), во втором – RSE. Однако таких методически корректных работ крайне мало. Видимо, авторы основной массы работ (ихтиологи, реже физиологи) имеют смутное представление о содержании органических веществ в природной воде и о понятии «чувствительность» в психофизическом смысле слова. Так при поиске скандинавскими авторами «ключевых» соединений, направляющих хоминг лососей обнаружена специфичность ответов ветвей обонятельного тракта на свободные аминокислоты (САК) и компоненты желчи (ЖК). При этом пороговые концентрации ЖК оказались на 2-3 порядка ниже, чем САК, но содержание тех и других в природной воде не определялось. В результате предложена гипотеза о том, что аминокислоты служат исключительно пищевым стимулом, а «ключевым» стимулом, направляющим хоминг, являются желчные компоненты (Doving et al., 1980). Спустя 20 лет

японские исследователи, оспаривая уже общепринятую скандинавскую гипотезу, определили концентрации САК и ЖК в нерестовых для лососей ручьях и обнаружили, что в природной воде концентрации ЖК ниже концентраций САК на те самые 2-3 порядка, на которые отличались пороговые концентрации. Затем, используя в качестве фона искусственную воду, в которой САК и ЖК отсутствуют, они предъявляли лососям эти соединения в природных концентрациях и регистрировали гораздо более интенсивную реакцию на САК, чем на ЖК (Shoji et al., 2000). Так была выявлена ошибка в определении чувствительности и показано, что САК вполне могут служить «ключевыми» стимулами, а для сравнения чувствительности лососей к САК и ЖК недостаточно определения пороговых концентраций и нужно определять относительные дифференциальные пороги.

Другой пример – гипотеза о связи RSE со структурой молекул аминокислот разных химических типов (Hara, 1975), давшая начало целой серии работ, выполненных на ряде видов рыб и беспозвоночных водных животных с использованием природного фона. В этом случае все САК предъявляются в *одинаковой* концентрации, но за счёт их разных фоновых концентраций, отличающихся в разы и даже на порядки, рыбами они воспринимаются как совершенно *разные* по величине прибавки к природным фоновым концентрациям САК. Поэтому и ранжирование ответных реакций по интенсивности проявления, и толкование результатов ранжирования – занятие бессмысленное, в чём можно убедиться при сравнении этих результатов с данными методически корректных работ, где RSE определялась на фоне искусственной воды, не содержащей САК. И опять ошибка связана с пренебрежением фоновыми концентрациями САК и правилами определения чувствительности. В то же время есть работы, где учитывать параметры фона не предписывалось, но была выявлена их связь с регистрируемой реакцией. Например, связь между

кратковременным (задаваемым экспериментатором) адаптирующим фоном и максимальной чувствительностью зрительной системы человека и лягушки (Kern, 1952; Ranke, 1952; Бызов и Кузнецова, 1969) и слуховой системы человека (Bekesy, 1929, 1960), а для рыб установлена связь между зависимостью воспринимаемого спектра света от предварительной (кратковременной) адаптации их глаз к свету или темноте (Протасов, 1960, 1961, 1978), а также спектральной характеристикой зрительных пигментов и спектральным составом света (играющим роль длительного адаптирующего фона) в местах обитания этих рыб (Wald et al., 1957; Wald, 1960). Теоретически обосновано и подкреплено многочисленными примерами положение о врождённой настройке слухового «приёмника» всех животных на восприятие биологически значимых для данного вида акустических сигналов (Гершуни, 1968). Описана экологическая обусловленность чувств животных, в частности, наилучшее приспособление сенсорных модальностей к определённым местам обитания (Мак-Фарленд, 1988).

Таким образом, актуальной является проблема: как хемочувствительность рыб к природным веществам связана с содержанием этих веществ в кратковременном (искусственном) и длительном (природном) адаптирующем фоне? Закономерность, связывающая чувствительность с кратковременным адаптирующим фоном, известна для наземных позвоночных животных и человека как закон Вебера. Применимость же этого закона для водных животных (рыб) экспериментально не проверялась. Для выявления связи чувствительности с длительным адаптирующим фоном нужно определить пороговые и наиболее эффективные (аналог RSE) концентрации тестовых веществ (САК), а также содержание САК в фоне (природной воде). Чувствительность отражает пределы способности рыб различать химические стимулы сходной концентрации. Как говорилось выше, для

рыб не менее важно различать вещества сходного качества. Поэтому одной из задач исследования было разработать корректный методический подход, позволяющий выявлять ответную реакцию рыб на любые (как количественные, так и качественные) различия двух стимулов.

Учет фонового содержания химических стимулов в природной воде необходим для оценки относительного дифференциального порога (ОДП) – отношения минимального количества стимульного вещества, прибавку которого к фону рыба замечает, к концентрации его в фоновой воде. ОДП принято определять в психофизике для сравнения разных индивидов по различительной чувствительности не к одной единственной величине изучаемого сенсорного признака, а к любой его величине (Бардин, 1976, с. 95). Поэтому требуемый в данной работе методический подход должен позволять оценивать ОДП, чтобы, на его основе провести психофизическое изучение хемочувствительности рыб: ее измерение, выяснение зависимости от уровня пищевой мотивации, развития в онтогенезе. (Последнее представляет собой специальную проблему: выяснение возможности чувствительности к пищевым стимулам на ранних этапах онтогенеза рыб, когда хемосенсорные способности рыб еще не достигли зрелого уровня развития). Работа имеет экологическое значение, поскольку в условиях, близких к естественным, изучается хемочувствительность рыб применительно к биологически значимым для них веществам, содержащимся в природной для них водной среде обитания.

Исходя из этого определены цели и задачи данного экспериментального исследования.

Цель работы – определить, когда возникает, от чего зависит, каких пределов достигает и как связана с фоном хеморазличительная чувствительность рыб (на примере русского осетра), по качеству и количеству в условиях, максимально приближенных к естественным.

Задачи основного исследования: найти методический подход для исследования различительной хемочувствительности рыб в условиях, приближенных к природным;

выяснить способность осетра распознавать на поведенческом уровне качественно различные аминокислоты; определить у осетра относительные дифференциальные пороги для отдельных аминокислот и многокомпонентных стимулов в широком диапазоне фоновых концентраций.

Задачи предварительного исследования: проследить у наивной молоди русского осетра становление в онтогенезе специфических реакций на предъявление отдельных соединений и многокомпонентных химических стимулов и выявить возрастной диапазон, в котором эти реакции стабильны по проявлению; проверить зависимость знаков специфических реакций на значимые химические стимулы от уровня пищевой мотивации; адаптировать к имеющимся возможностям и отработать методики подготовки проб природной воды к анализу (с помощью ионообменной хроматографии) пулов САК; определить содержание САК в природной воде из рукавов в дельте реки Волги и из водоёмов Александровского осетрового рыбоводного завода (ОРЗ), питающихся волжской водой, в которой изучается дифференциальная чувствительность рыб к аминокислотам, а также в используемой для приготовления тестовых растворов дистиллированной волжской воде.

В качестве тестовых растворов были выбраны биологически значимые соединения (САК) и многокомпонентные стимулы - экстракты («пищевой» из привычного корма осетрят – рачков рода *Daphnia* и «фекальной» из фекалий рыб того же вида, возраста и состава диеты). Поведенческие опыты проводились на группах рыб по модифицированной Л.А. Селивановой (с использованием феномена привыкания) методики Б.В. Солухи (1986, 1989) – психофизического метода констант,

адаптированного для решения ихтиологических задач (см. отдельное сообщение в этом сборнике). Параллельно с поведенческими опытами с помощью метода ионообменной хроматографии был проведён качественно-количественный анализ тестовых соединений (САК) в природной воде, где жили и тестировались рыбы (Селиванова и др., 1989).

Получены следующие результаты.

Обнаружено, что специфическую (направленную) реакцию на предъявление отдельных соединений и многокомпонентных пищевого и видовых экстрактов проявляют уже предличинки русского осетра.

На некоторые аминокислоты у «сытых» и «голодных» особей наблюдались лишь недостоверные отличия в интенсивности реакции, т.е. не все аминокислоты являются пищевыми стимулами. У «голодной» молоди осетра на некоторые химические стимулы становление знака реакции продолжается вплоть до стадии малька (когда молодь приобретает внешний вид взрослой особи), но уже в возрасте 41-100 суток с момента вылупления реакции на все предъявленные в стандартной концентрации стимулы стабильны по знаку и интенсивности проявления. Это позволяет использовать голодных особей такого возраста для исследования хемочувствительности рыб, считая изменения знака и интенсивности реакции индикатором способности рыб различать сходные по качеству или количеству стимулы.

Наиболее сходными по качеству являются химически неразличимые оптические изомеры. На примере аланина и тирозина показано, что необученная (наивная) молодь русского осетра, тестируемая в возрасте 41-100 суток с момента вылупления, на поведенческом уровне различает структурные и оптические изомеры аминокислот, причём знак реакции на второй из пары последовательно предъявленных стимулов зависит от сравнительной привлекательности этих двух стимулов (табл. 1). Это

подтверждает предположение о том, что в основе пищевой специализации и избирательности рыб лежит их способность хорошо различать даже очень сходные ингредиенты пищевых стимулов.

Определена дифференциальная чувствительность наивной молоди осетра к ординарным и многокомпонентным природным химическим стимулам в широком диапазоне искусственных фоновых концентраций. Установлено, что рыбы способна идентифицировать в среднем 0.1%-ную (0.01% - 10%) прибавку или отбавку отдельного химического соединения (аминокислоты) и в среднем 1%-ную (0.1% - 10%) прибавку многокомпонентного стимула. При этом:

а) на большей части диапазонов искусственных фонов дифференциальная чувствительность рыб к отдельным соединениям и многокомпонентным химическим стимулам описывается законом Вебера в логарифмических единицах: $\lg(\Delta C/C) = \text{const}$;

Таблица 1. Реакции наивной молоди осетра на последовательно предъявленные структурные и стереоизомеры аминокислот в стандартной концентрации 0,1 mM.

Последовательность предъявления	Знак реакции
L- α -аланин \rightarrow β -аланин	>
β -аланин \rightarrow L- α -аланин	+
L- α -аланин \rightarrow D,L-аланин	>
D,L-аланин \rightarrow L- α -аланин	+
D-тирозин \rightarrow D,L-тирозин	-
D,L-тирозин \rightarrow D-тирозин	+

Примечание: «+» - привлечение, «-» - избегание «>» и «<» - не ориентированное относительно источника стимула соответственно увеличение и уменьшение двигательной активности;

б) дифференциальная чувствительность к отдельным соединениям на порядок выше, чем к многокомпонентным стимулам, включающим в себя эти соединения;

в) максимальная дифференциальная чувствительность отмечена при максимальных фоновых концентрациях для многокомпонентных стимулов и при близкой к природной фоновой концентрации для отдельных аминокислот;

г) отмечена сенсбилизация к подпороговым по специфической реакции концентрациям некоторых отдельных аминокислот и многокомпонентных экстрактов при предъявлении их на фоне надпороговых концентраций этих стимулов. Высокая дифференциальная чувствительность наивной молодежи осетра по отношению к ординарным и многокомпонентным химическим стимулам позволяет ей ориентироваться в пологих градиентах химических стимулов, то есть в условиях медленного течения и на значительной удалённости от источника стимула.

Определены пороговые и наиболее эффективные (вызывавшие наиболее интенсивную ответную реакцию рыб) концентрации аминокислот при естественном аминокислотном фоне. Эти и представленные выше данные сопоставлены с результатами аминокислотного анализа природной воды (табл. 2). Обнаружено, что для отдельных аминокислот концентрации искусственных фонов, при которых отмечена максимальная дифференциальная чувствительность, а также пороговые по специфической реакции и наиболее эффективные концентрации аминокислот при естественном фоне положительно и значимо коррелируют по Пирсону с концентрацией аминокислот в природной фоновой воде. Этот результат в совокупности с литературными данными о тесной связи: а) пороговых концентраций для аминокислот и компонентов желчи у лососевых рыб с концентрациями этих соединений в воде, где обитают лососи (Doving et al., 1980; Shoji et al., 2000), и б) абсолютной чувствительности разных видов рыб к минеральным компонентам и содержанием этих компонентов в природной воде (Johnsen

et al., 1988; Hubbard, 2000) - означает, что чувствительность рыб к естественным химическим стимулам экологически обусловлена.

Таблица 2. Искусственный фон, на котором зарегистрирована наивысшая дифференциальная чувствительность (а), пороговые концентрации аминокислот для специфических реакций (b) и наиболее эффективные концентрации аминокислот (с) при природном фоне, а также пороговые концентрации САК в природной воде (n).

Аминокислота	Концентрация, lg, М			
	A	b	C	N
глицин	-7	-9	6	-7.2218
аланин	-5	-8	5	-7.5229
серин	-	-11	7	-7.1739
глутаминовая к-та	-	-9	6	-7.8239
пролин	-	-11	11	-10
гистидин	-8	-12	9	-7.699
тирозин	-9	-11	8	-9
метионин	-10	-12	9	-10

Примечание: прочерк – параметр не определялся

В то же время из полученных результатов следует, что дифференциальная чувствительность наивной молодежи русского осетра к отдельным аминокислотам при природном и искусственных фонах и эффективность действия аминокислот не зависят от их химического типа и структуры, а также от рацемического состава стимульного раствора. Кроме того, разница между пороговой и наиболее эффективной концентрациями при естественном аминокислотном фоне для большинства аминокислот, относящихся к разным химическим типам, одинакова и составляет три порядка.

Библиография:

Бардин К.В. Проблема порогов чувствительности и психофизические методы / М.: Наука. 1976. 396с.

Бызов А.Л., Кузнецова Л.П. Адаптация зрительной системы // *Нейрофизиология*. 1969. Т.1, №1. С.81-88.

Гершуни Г.В. Слух и биологическое звукоизлучение // *Вестник АН СССР*. 1968. №7. С.69-77.

Мак-Фарленд Д. Поведение животных: психобиология, этология и эволюция / М.: Мир. 1988. 520с.

Протасов В.Р. Некоторые функциональные особенности сетчатки глаз девяти видов рыб Баренцева моря // *Вопр. Ихтиол.* 1960. Вып.14. С.154-155.

Протасов В.Р. Некоторые особенности зрения и их приспособительное значение в жизни девяти видов рыб Чёрного моря // *Труды ИМЖ им. А.Н.Северцова АН СССР*. 1961. Вып.39. С.72-95.

Протасов В.Р. Поведение рыб: механизмы ориентации рыб и их использование в рыболовстве / М.: Пищевая промышленность. 1978. 296с.

Селиванова Л.А., Флёрова Г.И., Баратова Л.А., Белоусова Т.А., Белов Ю.П. Фоновый пул свободных аминокислот применительно к задаче определения чувствительности к ним гидробионтов // *Химические сигналы в биологии рыб* / ред. Павлов Д.С. М.: ИЭМЭЖ АН СССР. 1989. С.178-190.

Солуха Б.В. Приспособительное реагирование позвоночных животных на физические воздействия. Дис. ... док. наук. 410с.

Солуха Б.В. Методы измерения чувствительности, ориентированных перемещений и специализированных актов рыб в полях химических раздражителей // *Хемочувствительность и хемотрасмиссия рыб* / ред. Павлов Д.С. М.: Наука. 1989. С.5-97.

Bekey G.V. Zur Theorie des Horens. Über die eben merkbare Amplituden und Frequenzänderung eines Tones. Die Theorie der Schwebungen // *Phys. Ztschr.* 1929. Bd.30. S.721-745.

Bekey G. Auditory thresholds // *Experiments in hearing* / Ed. Wever E.G. New York: McGraw-Hill book company, INC. 1960. P.207-238.

Doving K.B., Selset R. & Thommesen G. Olfactory sensitivity to bile acids in salmonid fishes // *Acta Physiol. Scand.* 1980. V.108, №2. P.123-131.

Hara T.J. Molecular structure and stimulatory effectiveness of amino acids in fish olfaction // *Olfaction and Taste V* / Eds. D.A.Denton & J.P.Coghlan. New York: Academic Press. 1975. P.223-226.

Hubbard P.C., Ingleton P.M., Bendell L.A., Barata E.N. & Canario A.V.M. Olfactory sensitivity to changes in environmental $[Ca^{2+}]$ in the freshwater teleost *Carassius auratus*: an olfactory role for the Ca^{2+} -sensing receptor? // *J. Exp. Biol.* 2002. V.205, №18. P.2755-2764.

Johnsen P.B., Zhou H. & Adams M.A. Olfactory sensitivity of the herbivorous grass carp, *Ctenopharyngodon idella*, to amino acids // *J. Fish Biol.* 1988. V.33, №1. P.127-134.

Kern E. Der Bereich der Unterschiedsempfindlichkeit des Auges bei festgehaltenem Adaptationszustand // *Ztschr. Biol.* 1952. Bd. 105. S.237-245.

Passe D.H & Walker J.C. Odor psychophysics in vertebrates // *Neurosci. & Biobehav. Rev.* 1985. V.9, №3. P.431-467.

Ranke O.F. Die optische Simultanschwelle als Gegenbeweis gegen das Fechnersche Geselzt // *Z. Biol.* Bd. 1952. 105. S.224-232.

Shoji T., Ueda H., Ohgami T., Sacamoto T., Katsuragi Y., Yamauchi K. & Kurihara K. Amino acids dissolved in stream water as possible home stream odorants for masu salmon // *Chem. Senses.* 2000. V.25, №5. P.533-540.

Wald G. The distribution and evolution of visual systems // *Comparative Biochemistry. Vol.1: Sources of free energy* / Eds. M.Florkin & H.S.Mason. New York & London: Academic Press. 1960. P.311-345.

Wald G., Brown P.K. & Brown P.S. Visual pigments and depths of habitat of marine fishes // *Nature.* 1957. V.180, №4593. P.969-971.

Изменения вызванных потенциалов мозга при шкалировании субъективной громкости звуков

Аннотация. Регистрировали вызванные потенциалы (ВП) мозга в вертексе и в левой лобной области на звуки от 30 до 100 дБ при их счете и при шкалировании субъективной громкости. Показано, что рост колебания N1P1 слуховых ВП в диапазоне от 30 до 100 дБ заметно больше при шкалировании громкости звуков, чем при их счете. Сделан вывод, что различия в субъективной громкости звуков должны быть большими в условиях оценки их громкости, чем в условиях их счета.

Параметры степенной психофизической функции, устанавливаемые методами прямого психофизического шкалирования, зависят не только от модальности сенсорного раздражителя. Крутизна психофизиологических функций, измеряемая показателем степени в формуле Стивенса, изменяется при варьировании процедуры эксперимента. Это известные эффекты, связанные с шириной диапазона стимулов, с их количеством и с последовательностью, с положением стандартного стимула, с информационной значимостью тех или иных сигналов.

Есть все основания думать, что причиной этих эффектов являются перестройки в протекании сенсорно-перцептивных процессов в зависимости от задач и условий деятельности наблюдателя. Задача психофизического шкалирования стимулов требует достаточно высокой внутренней активности субъекта (удержание в памяти эталонного стимула, сравнение с ним текущей стимуляции, вынесение оценочного суждения), а степень, состав, механизмы этой активности в разных условиях могут быть разными. Но глубинные внутренние перестройки протекания сенсорно-перцептивных процессов при разных условиях шкалирования стимулов не могут быть выявлены психофизическими методами, которые позволяют

судить лишь о конечных результатах шкалирования. Однако серьезные новые возможности открываются при объединении этих методов с методом прямой регистрации мозговой активности, вызванной сенсорной стимуляцией в проекционной и других областях мозга при разных условиях восприятия и шкалирования стимулов.

Один из экспериментов в данном направлении был осуществлен в нашей лаборатории А.В. Лысенко.

регистрировались вызванные потенциалы мозга (ВП) на звуковые стимулы длительностью 200 мс и интенсивностью 30, 40, 60, 80 и 100 дБ в области вертекса и в лобной области левого полушария. ВП записывались при двух разных видах деятельности в отношении звуковых стимулов: 1) при счете звуков; 2) при шкалировании их субъективной громкости методом прямой оценки величины ощущения. Эталонем служил звук интенсивностью 40 дБ, которому экспериментатор приписывал балл 10. От испытуемых требовалось оценить в баллах громкость других звуков.

Звуки каждой интенсивности предъявлялись пачками по 30 сигналов и соответствующие ВП усреднялись. Для обработки была выбрана амплитуда наибольшего по величине и наиболее стабильного компонента слухового ВП (фаза N1P1, по схеме Дэвиса).

Средние амплитуды этого компонента ВП для группы испытуемых из 15 человек приведены в таблице, в последнем столбце которой представлены также показатели их реактивности, которые вычислялись как отношение суммы амплитуд N2P2 на звуки 60, 80, 100 дБ к амплитуде N1P2 на звук 40 дБ.

Таблица 1. Зависимость средней амплитуды колебаний N1P2 слухового ВП (мкВ) и реактивности ВП от деятельности испытуемого со звуковыми сигналами

Отведение	Деятельность испытуемого	Интенсивность звуков, дБ					Реактивность
		30	40	60	80	100	
Вертекс	Счет звуков	21,2	24,6	25,9	25,2	28,9	3,25
	Оценка громкости	15,6	20,7	25,3	36,2	35,4	4,68
Лоб	Счет звуков	24,6	25,2	29,7	30,3	30,9	3,56
	Оценка громкости	20,1	23,5	32,4	35,7	33,3	4,31

Видно, что рост величин колебания N1P2 слуховых ВП в обоих отведениях заметно больше при шкалировании громкости звуков, чем при их счете. Это означает, что при шкалировании громкости по сравнению со счетом звуков происходит увеличение диапазона нервной активности континуума звуковых сигналов интенсивностью от 30 до 100 дБ. При этом амплитуда колебания N1P2 на слабые звуки уменьшается, а на сильные увеличивается. Эти изменения ВП в задаче шкалирования более ярко выражены в области вертекса, ВП в которой считаются отражением процессов, возникающих при действии звуков в слуховой проекционной области. Таким образом, задача шкалирования громкости существенно изменяет по сравнению с простым восприятием звуков при их счете уровень нервной активности, вызываемой звуками в проекционной слуховой области коры, но также и в ее левой лобной области. Эти изменения таковы, что различия в уровне нервной активности, вызываемой звуками разной интенсивности, становятся более выраженными, что должно делать более выраженными различия в их субъективной громкости.

Надо полагать, что в разных условиях шкалирования стимулов перестройки в протекании вызываемых ими сенсорно-перцептивных процессов могут быть существенно различными. А регистрация и анализ параметров ВП мозга в этих разных условиях могут пролить свет на

глубинные причины известных эффектов, выявленных на психофизическом уровне изучения вариативности параметров основного психофизического закона.

ЭКСПЕРИМЕНТ И ПРАКТИКА

БАБЕНКО В.В., БОЖИНСКАЯ М.А. Передаточная функция модуляции пространственной частоты

Аннотация. Ранее были получены доказательства того, что в зрении человека существуют преаттентивные механизмы, группирующие локальную информацию. В частности, изменение пространственной частоты (ПЧ) обнаруживается в результате пространственного объединения линейных фильтров с разной частотной настройкой. Цель нашего исследования – определить возможный порядок группирования фильтров первого порядка на механизмах второго порядка в задаче обнаружения модуляции ПЧ. Использовались паттерны с разным соотношением частот огибающей (ПЧ модуляции) и несущей (исходная ПЧ). Методом постоянных раздражителей определялась пороговая амплитуда модуляции для каждого соотношения частот. Обнаружено, что передаточная функция модуляции ПЧ имеет оптимум при соотношении частот 1/16. Делается вывод, что объединение фильтров с разной частотной настройкой осуществляется на определенном пространственном интервале, который зависит от центральной ПЧ объединяемого диапазона.

Известно, что зрительное восприятие у человека начинается с этапа автоматической обработки, который реализуется в форме параллельной локальной фильтрации входного сигнала с помощью линейных фильтров. Данная операция осуществляется клетками, формирующими пути от рецепторов сетчатки до простых нейронов стриарной коры. Далее

выделенная локальная информация должна каким-то образом группироваться в блоки, которые затем используются при опознании. Предполагалось, что объединение локальных признаков происходит последовательно с помощью избирательного внимания (Treisman, Gelade, 1980; Wolfe et al., 1990). Однако появлялись все новые факты, свидетельствующие о том, что процесс группирования некоторых признаков также может осуществляться параллельно (Humphreys et al., 1989; Carrasco et al., 1998 и др.). Было высказано предположение, что автоматизированная зрительная обработка включает не одну, а две стадии (Chubb, Landy, 1991; Wilson, 1993; Graham, 1994). Сначала механизмы первого порядка выделяют локальные признаки, а затем механизмы второго порядка объединяют эти признаки. В наших предыдущих экспериментах было показано, что группирование локальной информации действительно осуществляется параллельно (Бабенко и др., 2006). Таким образом, были получены доказательства существования преаттентивных механизмов второго порядка. Далее следовало понять, подчиняется ли такое группирование какому-либо определенному правилу.

Цель данного исследования - определить порядок группирования фильтров первого уровня с разной пространственно-частотной настройкой. Если механизмы первого уровня чувствительны к модуляции яркости, то механизмы второго – к пространственным вариациям признаков: модуляции контраста, ориентации или пространственной частоты. В данной работе в качестве варьирующего признака мы использовали пространственную частоту.

Эксперименты были проведены на персональном компьютере с процессором Celeron 350 мГц, видеокартой Dimond A200 и монитором ViewSonic G655 с диагональю 15". Размеры экрана в пикселях составляли 1024x768. Размер одного пикселя равнялся 0,27 мм. Частота кадровой

развертки составляла 85 Гц. Применялся режим, позволяющий использовать 256 градаций яркости.

В качестве стимулов использовался паттерн, состоящий из расположенных в шахматном порядке округлых Габоровских патчей, диаметром 0,44 угл. град. Паттерн заполнял весь экран монитора. Исходная (центральная) пространственная частота паттерна составляла 2,3 цикла/град. Эта пространственная частота была синусоидально промодулирована вдоль ширины экрана таким образом, что отношение пространственной частоты модуляции (огнибающая) к исходной пространственной частоте (несущая) составляло в разных стимулах 1/32, 1/16, 1/8, 1/4 и 1/2. Модуляция сглаживалась на краях экрана. Ориентация патчей могла быть вертикальной или горизонтальной. Это позволяло исследовать передаточную функцию модуляции частоты, когда она перпендикулярна или параллельна ориентации градиентов яркости (рис. 1).

Испытуемые располагались в экспериментальной камере с фоновой освещенностью на уровне 30-40 люкс. Средняя яркость экрана составляла 160 кд/м². Расстояние от глаз до экрана – 115 см. В задачу испытуемых входило определить, присутствует ли модуляция в предъявленном изображении, и сообщить о своем решении нажатием соответствующей клавиши. Использовался метод постоянных раздражителей. Глубина модуляции варьировала от 0 до 1,2 дБ с шагом 0,2 дБ. Определялась пороговая амплитуда модуляции для каждого соотношения частот огнибающей и несущей. В экспериментах приняло участие 3 испытуемых с нормальным зрением.

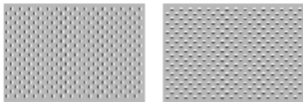


Рис. 1. Фрагменты использованных паттернов. Отношение частоты модуляции к частоте несущей 1/16. Глубина модуляции 1 дБ.

Проведенные исследования позволили установить зависимость порога обнаружения модуляции пространственной частоты от отношения частот огибающей и несущей. Полученные результаты представлены на рис. 2.

По оси абсцисс отложены отношения частоты модуляции к частоте несущей. По оси ординат – пороговая глубина модуляции. Сплошной линией обозначена зависимость порога обнаружения модуляции при вертикальной ориентации патчей в изображении. Пунктирной линией – при их горизонтальной ориентации. Каждая точка на графике получена в результате 1200 усреднений.

Обращает на себя внимание, что характер полученных кривых сходен независимо от того, перпендикулярна или параллельна ориентации патчей ось модуляции. Вместе с тем, пороги для модуляции, перпендикулярной ориентационной оси, закономерно ниже. На графиках хорошо видно, что у всех испытуемых пороги минимальны при отношении частот 1/16. Кроме того, еще одно снижение порога наблюдается при соотношении 1/2, то есть при самой высокой частоте модуляции. О чем могут свидетельствовать полученные результаты?

Рассмотрим использованные нами стимулы. Градиенты яркости в патчах активирует механизмы первого порядка, а модуляция пространственной частоты патчей – механизмы второго порядка. Увеличение глубины модуляции расширяет спектр активируемых элементов первого порядка. Изменение частоты модуляции меняет пространственный диапазон, на котором возможно группирование этих элементов.

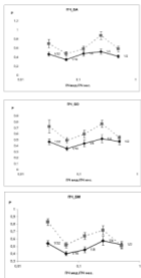


Рис. 2. Зависимость порога обнаружения модуляции пространственной частоты от отношения частот огибающей и

Обнаружение оптимума на передаточной функции свидетельствует о том, что варьирование пространственной частоты на пространственном интервале, в 16 раз превышающем один период центральной частоты, создает оптимальные условия для обнаружения такой модуляции. А это указывает на то, что именно на таком интервале происходит группирование фильтров первого порядка с разной частотной настройкой.

Следует обратить внимание также на то, что передаточная функция имеет оптимум на $1/16$ независимо от того, как ориентированы патчи относительно оси модуляции. Это означает, что пространственное группирование фильтров первого порядка носит двумерный характер с одинаковой протяженностью обеих осей. Однако то, что пороги при перпендикулярном соотношении осей ниже, чем при параллельном, может указывать на больший вес связей при группировании вдоль оси, перпендикулярной ориентации, на которую настроены фильтры первого уровня.

Еще одно снижение порогов наблюдается при соотношении частот $1/2$, то есть фактически при максимально возможной частоте модуляции. На этой частоте пространственное группирование исключено: патчи с более высокой и более низкой пространственной частотой чередуются. Очевидно, что в действие вступает иной механизм, основанный на сравнении соседних патчей и обнаружении возможной разницы.

Таким образом, полученные нами результаты свидетельствуют о том, что элементы второго порядка, группирующие фильтры с разной частотной настройкой, объединяют выходы этих элементов на определенном пространственном интервале, который зависит от центральной частоты объединяемого диапазона.

Библиография:

Бабенко В.В., Кульба С.Н., Божинская М.А. Зрительный поиск модулированных текстур // Сенсорные системы. 2006. Т. 20, № 4. С. 259-264.

Carrasco M., Ponte D., Rechea C., Sampedro M.J. "Transient structures": the effects of practice and distractor grouping on within-dimension conjunction searches // *Perception Psychophysics*. 1998. Vol. 60, No 7. P. 1243-1258.

Chubb C., Landy M.S. Orthogonal distribution analysis: a new approach to the study of the texture perception // *Computational models of visual processing*. Cambridge. 1991. P. 291-301.

Graham N. Non-linearities in texture segregation // *CIBA Foundation Symposium*. New York. 1994. P. 309-329.

Humphreys G.W., Quinlan P.T., Riddoch M.J. Grouping processes in visual search: effects with single- and combined-feature targets // *Journal of Experimental Psychology Gen*. 1989. Vol. 118. No 3. P.258-279.

Treisman A.M., Gelade G. A feature-integration theory of attention // *Cognitive Psychology*. 1980. Vol.12, No 1. P.97-136.

Wilson H.R. Nonlinear processes in visual pattern discrimination // *Proceedings of the National Academy of Sciences. U S A*. 1993. Vol. 90, No 21. P.9785-9790.

Wolfe J.M., Yu K.P., Stewart M.I., Shorter A.D., Friedman-Hill S.R., Cave K.R. Limitations on the parallel guidance of visual search: color x color and orientation x orientation conjunctions // *Journal of Experimental Psychology, Human Perception and Performance*. 1990. Vol.16, No 4. P. 879-892.

Психофизика восприятия растровых изображений

Аннотация. Рассматриваются психофизические аспекты антиаппайлинга - борьбы с растровыми искажениями. Описана иллюзия наклона растрового отрезка прямой и наиболее вероятные механизмы, лежащие в ее основе.

Несмотря на интенсивную разработку технических и программных методов улучшения качества растровых изображений, известно лишь несколько работ, в которых затрагивается психологическая сторона проблемы (Atherton, Caporalet 1985; Booth, Bryden, Cowan, Morgan, Plante, 1987; Crow, 1977, 1981; Silverstein, Krantz, Gomer, Yeh, Monty, 1990). Их анализ показывает, что: 1) исследователей преимущественно интересуют субъективная оценка качества генерируемого изображения, достоверность его формы или же эстетическая привлекательность; 2) остаются неизвестными зависимости наблюдаемых искажений от различного рода условий восприятия — как объективных, так и субъективных; 3) не изучены механизмы, лежащие в основе восприятия растровых изображений; 4) большинство экспериментов носит демонстрационный характер, а единственным испытуемым обычно является сам экспериментатор. Не случайно главным принципом разрабатываемых систем компьютерной графики остается максимальный реализм изображения, требующий создания все более изощренных алгоритмов и громоздкого аппаратного обеспечения.

Согласно наблюдениям, наибольшим искажениям подвергаются изображения, состоящие из прямых линий, угол наклона которых близок к вертикали/горизонтали: координатная сетка, рамки, линии азимута и горизонта. В частности, растровые отрезки прямых, близкие к вертикали,

приобретают ступенчатость и воспринимаются как более наклонные, чем на самом деле. Анализ этого феномена показывает, что переоценка наклона растрового отрезка прямой вызвана его сегментацией и является частным случаем оптико-геометрических иллюзий. В первую очередь имеется в виду иллюзия Фрезера (Fraser, 1908), согласно которой воспринимаемый паттерн, составленный из параллельно смещенных перекрывающихся сегментов, меняет действительную ориентацию в пространстве. Например, вертикально ориентированные буквы, составленные из наклонных полос, кажутся наклонными (рис. 1). Данный эффект сохраняется при углах наклона сегментов до $15-20^\circ$, а при больших углах «переворачивается»: паттерн воспринимается наклонным в противоположную сторону (иллюзия Цольнера).



Рис. 1. Пример иллюзии Фрезера.

Растровые отрезки прямой также конструируются из параллельно смещенных сегментов, правда, расположенных «стык в стык» (без перекрытия), а направление кажущегося наклона совпадает с направлением иллюзии Фрезера. Это позволяет предположить сходство механизмов растрового и оптико-геометрического эффектов и воспользоваться существующим знанием для объяснения воспринимаемого искажения направления линий на экране дисплея.

Известно несколько гипотез, объясняющих механизм возникновения иллюзии Фрезера: 1) наличие латерального торможения смежных рецептивных полей; иллюзия возникает благодаря особенностям

взаимодействия между детекторами ориентации (Chiang, 1968); 2) существование взаимодействия между детекторами с различными размерами рецептивных полей: информация об ориентации сегментов, выделяемая полями наименьшего размера, ассимилируется рецептивными полями, которые отвечают за определение наклона всего паттерна (Tyler, Nakayama, 1984); 3) участие в зрительном процессе дирекционных элементов: ориентация кодируется «дирекционными» элементами только на локальном уровне (Howard, 1982); 4) иллюзия возникает из-за того, что искажающие элементы воспринимаются как составная часть или продолжение действительных элементов изображения (Cowan, 1973); 5) иллюзия порождается «эфферентными копиями», связанными с движениями глаз (Festinger, White, Allyn, 1968); 6) способность зрительной системы «раскладывать» изображение на фундаментальные компоненты Фурье: иллюзия связана с особенностями частотного состава изображения (Stuart, Day, 1988). Однако ни одна из них не охватывает иллюзию Фрезера в полном объеме (Robinson, 1998).

Прежде чем обсуждать возможные механизмы восприятия наклона растрового отрезка прямой, попытаемся установить величину иллюзии и уточнить пространственно-временные условия ее возникновения.

Восприятие наклона растрового изображения

Выбирая методы исследования, мы исходили из особенностей стимульного материала и содержания задач реальной операторской деятельности. В наибольшей степени этим требованиям отвечает процедура определения угла наклона паттерна методом ортогонального сравнения. Он предполагает установление отношения перпендикулярности между стимульным и подравниваемым отрезками (Stuart, Day, 1988). Чтобы сохранить валидность исследования, стимульная ситуация выводилась на растровый экран с разрешением 640х350 пикселей. Это предполагало

использование методов устранения искажений при отображении эталонного и подравниваемого отрезков. Сглаживание осуществлялось с помощью методов префильтрации (Gupta, Sproull, 1981) и g-коррекции (Tanner, Jolicoeur, Cowan, Booth, Fishman, 1989).

Эксперимент был направлен на то, чтобы оценить воспринимаемую ориентацию растровых отрезков прямой в зависимости от угла их наклона. На экране дисплея появлялись два отрезка, один из которых — стимульный — был наклонен под углом $-4...+4^\circ$ относительно вертикали, а ориентация второго — подравниваемого — менялась самим испытуемым, который находился на расстоянии 50 см от экрана. Пространственные паттерны имели длину 9 см, стягивая зрительный угол около 10° . Задача испытуемого состояла в том, чтобы с помощью потенциометра установить подравниваемый отрезок перпендикулярно стимульному. В ходе эксперимента варьировался угол наклона стимульного отрезка и метод его отображения на экране дисплея (1 — стандартный алгоритм Брезенхема, приводящий к искажениям, 2 — метод префильтрации). Для каждого значения угла и типа стимула было выполнено по десять повторений. В эксперименте приняли участие 16 студентов в возрасте 17-20 лет, обладающих нормальным или скорректированным до нормального зрением.

Согласно полученным данным, растровые изображения кажутся наклоненными в ту сторону, в которую развернуты сегменты паттерна относительно идеальной ориентации. Ориентация растровых отрезков прямой воспринимается с систематической ошибкой как в области положительных, так и отрицательных углов наклона ($F = 47,6$; $p < 0,001$).

Систематическая ошибка минимальна при определении вертикали и носит асимметричный характер. Величина иллюзии определялась как разность между значением систематической ошибки для эталонного

(фильтрованного) отрезка и для растрового. Ее зависимость от угла наклона паттерна представлена на рис. 2.

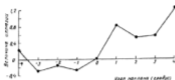


Рис.2. Величина иллюзии в зависимости от угла наклона.

При отрицательных углах наклона стимула (по часовой стрелке относительно вертикали) величина иллюзии остается приблизительно постоянной: не более $0,2^{\circ}$ – $0,3^{\circ}$. На положительных углах иллюзия выражена резче, усиливаясь с увеличением угла наклона (0° — $1,2^{\circ}$). Факт систематической ошибки согласуется с результатами исследований иллюзии Фрезера (Chiang, 1968; Cowan, 1973; Fraser, 1908; Stuart, Day, 1991). Следовательно, сегментация, порожаемая растром, является предельным случаем этой иллюзии, когда коэффициент перекрытия сегментов становится близким к нулю. Для того чтобы отличить описанный феномен от иллюзии Фрезера, назовем его *иллюзией наклона растрового отрезка прямой*.

Механизмы иллюзии

Для установления причин возникновения иллюзии наклона растрового отрезка прямой мы провели эксперимент, в котором наряду с растровыми и фильтрованными отрезками использовали отрезки, составленные из сегментов с различным коэффициентом перекрытия ($k = -0,12; -0,02; 0,02; 0,12$).

Учитывая множественность гипотез, претендующих на объяснение иллюзии Фрезера, выскажем несколько предположений о возможных перцептивных эффектах и соответствующих им механизмах. Концепция латерального торможения предсказывает, что если сегменты не перекрываются ($k < 0$) (рис. 3), то иллюзия отсутствует, а если перекрываются ($k > 0$), она возрастает с увеличением области перекрытия. Теория К. Тайлера и К. Накаямы (Tyler, Nakayama, 1984) исключает возможность иллюзии в любой из сконструированных стимульных ситуаций ($k \neq 0$) из-за отсутствия субъективного контура, отвечающего за наклон изображения в целом. Согласно теории «дирекционных» элементов, чем длиннее сегменты, тем больше число детекторов локальной ориентации вовлекается в процесс восприятия и тем, следовательно, больше величина иллюзии. С увеличением положительного коэффициента ($k > 0$) перекрытия сегментов иллюзия, возможно, будет возрастать не столь быстро. Это связано с тем, что области перекрытия окажутся в зоне действия одного «дирекционного» элемента. Наконец, если учитывать роль компонентов Фурье в формировании иллюзий наклона, то с возрастанием длины сегментов она должна возрастать, так как величина фундаментальной компоненты совпадает с длиной сегмента.



Рис. 3. Примеры пространственных паттернов, предъявлявшихся испытуемым.

Применительно к восприятию растрового изображения ($k = 0$) возможны следующие прогнозы. Отсутствие разрывов и перекрытий

воспринимаемой структуры исключает возникновение латерального торможения. Если бы он и возникло, то должно было скорее искривить видимые концы сегментов, чем привести к искажению наклона. Согласно теории Тайлера и Накаямы, растровое изображение вызвало бы иллюзию, но меньшую по величине. Если существуют «дирекционные» элементы, то иллюзия зависит только от длины сегментов, поэтому результаты, полученные для растрового изображения, должны занять промежуточное положение между результатами для случаев $k = -0,02$ и $k = 0,02$. Обращение к фильтрам пространственных частот допускает, что иллюзия наклона растрового отрезка прямой должна быть существенно меньше, чем во всех остальных случаях. Это связано с тем, что в изображении появляется фундаментальная компонента Фурье, которая по длине совпадает с длиной паттерна, а по наклону — с его истинным наклоном.

Примеры пространственных паттернов, использованных в нашем эксперименте, изображены на рис. 3. Если $k = -0,12$, то это означает, что 24% общей длины паттерна приходится на разрыв между сегментами, а в случае $k = -0,02$ — только 4%. Если же коэффициент перекрытия положителен, то соответственно 4 % (при $k = 0,02$) и 24% (при $k = 0,12$) общей длины паттерна попадают в область перекрытия.

Психофизическая оценка воспринимаемого наклона паттернов обеспечивалась методом ортогонального сравнения. Паттерны и устанавливаемый отрезок выводились на растровый дисплей с разрешением 640х350 пикселей. Случайным образом варьировали тип паттерна (6 уровней) и угол его наклона (7 уровней: 0° , 1° , 2° , 3° , 4° , 5° , 6°).

В эксперименте приняли участие 25 студентов, обладающих нормальным или скорректированным до нормального зрением.

Результаты ортогонального сравнения для $k = -0,12$ и $k = 0,12$ практически совпадают ($F = 1,48$; $p > 0,1$). Близки и оценки паттернов с $k = -0,02$ и $k = 0,02$ ($F = 0,13$; $p > 0,1$). Вся совокупность данных разбивается на

три группы. Первая группа — растровые искажения ($k = 0$), вторая — $k = -0,02$; $k = 0,02$, третья — $k = -0,12$; $k = 0,12$.

Обратим внимание на вид паттернов, которые попали в ту или иную группу (рис. 3). Легко убедиться, что их объединение не случайно. Паттерны с наибольшим положительным и отрицательным коэффициентами перекрытия (а, е) меньше всего похожи на эталонный отрезок прямой (f). Некоторое сходство обнаруживают паттерны с незначительными положительными и отрицательными коэффициентами перекрытия (b, d), но ближе всего к эталонному отрезку (f) находится растровое изображение (с).

Сказанное позволяет заключить, что мы действительно имеем дело с родственными эффектами, основанием возникновения которых является параллельность смещения сегментов. В зависимости от знака и величины перекрытия сегментов тип и величина иллюзии оказываются различными. Переоценка наклона растрового отрезка прямой является предельным случаем ряда, когда коэффициент перекрытия близок к нулю, а величина иллюзии наименьшая.

Проанализируем возможные механизмы иллюзий. Многофакторный дисперсионный анализ показывает значимость влияния структуры паттерна на оценку его наклона ($F=29,65$; $p < 0,001$). Так как иллюзия получена для всех типов паттернов, теория латерального торможения рецептивных полей может быть отвергнута уже на начальном этапе анализа. Вопреки ожиданию, паттерны с отрицательным коэффициентом перекрытия сегментов приводят к не меньшим по величине иллюзиям, чем паттерны с положительным коэффициентом.

Тайлер и Накаяма использовали паттерны, составленные из сегментов, две противоположные стороны которых не только совпадали с идеальной границей стимула, но и индуцировали субъективные контуры, восполняющие разрывы между сегментами. Это позволяло говорить о

наличии в исходном изображении признаков, которые соответствовали идеальным границам паттерны и, следовательно, его истинному наклону. В нашем случае такие признаки отсутствовали (особенно явно для случая $k = -0,12$), а следовательно, ориентация паттернов могла задаваться только отношениями сегментов. По Тайлеру и Накаяме, все типы паттернов должны казаться вертикально ориентированными, чего в наших экспериментах не было. Если предположить, что признаки глобальной ориентации предъявлявшихся паттернов все же присутствуют, то по убывающей величины иллюзии паттерны можно выстроить в следующей последовательности: $k = -0,12$, $k = -0,02$; $k = 0,02$; $k = 0,12$; $k = 0$. В действительности паттерн с $k = 0,12$ приводит к столь же сильному эффекту, что и паттерн с максимальным отрицательным коэффициентом (рис. 4).

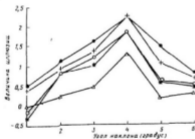


Рис. 4. Зависимость величины иллюзии от угла и метода отображения. Темный кружок - $k = -0,12$, светлый кружок - $k = -0,02$, треугольник - растовое изображение, звездочка - $k = 0,02$, крестик - $k = 0,12$.

Концепция «дирекционных» элементов Фрезера - Ховарда предполагает, что эффект наклона определяется на уровне отдельных элементов изображения. Главное внимание уделяется длине и ориентации

сегментов. Иллюзия должна усиливаться с увеличением длины сегментов, а результаты оценок должны располагаться в следующем порядке: максимальная иллюзия для случая $k = 0,12$, затем $k = 0,02$; $k = 0$; $k = -0,02$ и минимальная иллюзия для $k = -0,12$. Однако иллюзия в случае $k = -0,12$ оказывается такой же сильной, как и для $k = 0,12$, а в случае $k = 0$ (растровые искажения) значительно слабее ожидаемой. Следовательно, и это объяснение несостоятельно.

Наконец, рассмотрим полученные данные с точки зрения пространственно-частотных составляющих. Наши результаты подтвердили предположение о минимальной величине иллюзии в случае растровых искажений, но вступили в противоречие с другими прогнозами теории. Если предположить, что значимость элемента связана с фундаментальной компонентой Фурье, то иллюзия должна быть пропорциональна длине сегментов. На самом деле, так же как и в предыдущих случаях, оценка паттернов с $k = -0,12$ не соответствует ожиданиям.

Таким образом, ни один из известных механизмов восприятия пространственной ориентации визуальных паттернов не может объяснить всей совокупности полученных данных. Невозможно это сделать и в результате суммирования механизмов, поскольку, с одной стороны, их действия нередко противоречат друг другу, а с другой — ни один из них не предназначен для объяснения эффектов отрицательного перекрытия элементов.

Главный результат нашего эксперимента состоит в том, что иллюзия наклона является функцией структуры паттерна, т. е. пространственного соотношения его элементов. Для возникновения иллюзии необходимо параллельное смещение вертикально ориентированных элементов относительно друг друга. Знак и степень перекрытия элементов определяют величину кажущегося наклона. Зарегистрированные эффекты

восприятия различных паттернов имеют общий диапазон действия (наклоны относительно вертикали до 8°) и общий максимум (наклон в 4°).

Геометрический отрезок прямой, для которого величина смещения и степень перекрытия элементов равняются нулю, выступает в качестве предельного и в каком-то смысле исходного случая. Растровое изображение отрезка прямой вводит одностороннее смещение элементов, обуславливающее иллюзорное восприятие: с изменением величины смещения (в границах диапазона $-0,25 < k < 0,25$) кажущийся наклон паттернов увеличивается. Иллюзия Фрезера (вернее, одна из ее разновидностей) принадлежит к тем эффектам описываемого ряда, в котором элементы связаны положительным коэффициентом перекрытия. Эквивалентная по величине иллюзия, опирающаяся на отрицательные значения перекрытия элементов, хотя и упоминалась в литературе (Schumann, 1900), специально не исследовалась. Очевидно, что в плане анализа механизмов восприятия пространственной ориентации паттернов среды она представляет не меньший интерес, чем иллюзия Фрезера. Попытки объяснить иллюзию Шумана могут привлечь к обсуждаемой проблеме новые эмпирические данные и концептуальные представления, которые позволят сформировать более глубокий взгляд на природу иллюзий наклона.

С рассматриваемой точки зрения кажущийся наклон растрового отрезка прямой отражает стык противоположных эффектов — момент перехода от иллюзии Шумана к иллюзии Фрезера, и наоборот. Особое место, которое занимает растровое искажение прямой, предполагает опору на механизмы и той и другой иллюзии.

Безотносительно к физиологическим механизмам можно говорить о разных типах отношений между сходными элементами иллюзий: проксимальном и дистальном. Первый допускает сближение элементов и их контакт по всей длине перекрываемого пространства, второй —

взаимодействие на удалении и контакт между концами элементов. Благодаря этим отношениям складываются целостные образования — «дирекционные единицы», на основе которых определяется пространственная ориентация и изображения в целом, и его отдельных сегментов. В какой-то мере здесь можно провести параллели с явлениями близкого и дальнего взаимодействия элементов зрительного поля (Барабанщиков, 2002).

Хотя паттерны, заключающие в себе различные отношения, вызывают сходные интегральные эффекты, иллюзии Фрезера и Шумана качественно различны. Отличается от них и иллюзия наклона растрового отрезка прямой, полагающая сосуществование отношений различного типа (проксимально-дистальные) и смешанные дирекционные единицы.

Микродинамика иллюзий наклона

Если представления, описанные выше, верны, то все три иллюзии должны иметь различный микрогенез. Зависимость величины кажущегося наклона параллельно смещенных отрезков прямых от времени предъявления и пространственной структуры паттерна прослеживалась в специальном исследовании. Ранее эксперименты с варьированием времени предъявления стимульного паттерна (используемого типа) проводились лишь однажды и с другой целью (Fraser, 1908). Сокращая время экспозиции, Фрезер пытался устранить возможный эффект движений глаз. В ходе исследования было установлено, что при $t = 125$ мс иллюзия сохраняется и с t увеличением времени экспозиции паттерна не уменьшается.

В нашем эксперименте в качестве стимульного материала использовались паттерны а, с, е, f (рис. 3), которые имели два угла наклона: 0° и 2° . Время предъявления варьировали случайным образом. В начале каждой пробы испытуемому подавался звуковой сигнал частотой 400 Гц и длительностью 500 мс. Спустя 1000 мс на экране дисплея

демонстрировался паттерн, который сохранялся соответственно 40, 80 или 120 мс. После этого появлялся подстраиваемый отрезок, и испытуемый с помощью потенциометра устанавливал его перпендикулярно тестовому. В эксперименте приняли участие 20 студентов в возрасте 18-24 лет.

Результаты эксперимента приведены на рис. 5. Нетрудно заметить, что с изменением времени экспозиции величина иллюзии растрового отрезка прямой практически не меняется. Это подтверждает данные Фрезера и исключает еще одну гипотезу, претендующую на объяснение механизма кажущегося наклона паттерна, - «эфферентные копии» саккадических движений глаз (Festinger, White, Allyn, 1968; Барабанщиков, 1997). Величина иллюзий Фрезера и Шумана, напротив, непосредственно зависит от времени предъявления паттернов. При $t = 40$ мс эффект иллюзии Фрезера превышает величину иллюзии растрового отрезка прямой в три раза, а эффект иллюзии Шумана — в четыре раза. При $t = 80$ мс эти различия сглаживаются, а при 120 мс — приближаются к значениям, полученным в условиях достаточного времени экспозиции. Обратим внимание, что величина иллюзии Шумана ($k = -0,12$) на всех временных интервалах оказывается выше величины иллюзии Фрезера ($k = 0,12$).

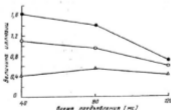


Рис. 5. Зависимость величины иллюзии от времени предъявления и типа паттерна. Темный кружок — $k = -0,12$, светлый кружок — $k = 0,12$, треугольник — растровые изображения.

Следовательно, каждая из рассматриваемых иллюзий имеет различный микрогенез, а значит, и различную качественную определенность. Можно полагать, что на ранних фазах перцептогенеза ($t = 40$ мс) в силу нечеткости воспринимаемых элементов их отношения вызывают более выраженный интегративный эффект, чем на последующих. С течением времени спецификация графических деталей приводит к усилению роли внутренней структуры паттернов, снижающему общее впечатление наклона до некоторого постоянного значения. Отсутствие изменений в восприятии наклона растровых изображений обуславливается слабой дифференцированностью их структуры. Отметим, что за рамками изучения остался диапазон экспозиций 0–40 мс, обращение к которому поможет существенно уточнить картину микрогенеза иллюзий наклона (см.: Piaget, 1961).

Итак, используя психофизические методы, мы получили количественную оценку восприятия кажущегося наклона простейшего растрового изображения. Результаты эксперимента показывают, что: 1) существует систематическая ошибка (иллюзия) восприятия растрового отрезка прямой, которая зависит от угла его наклона; 2) диапазон кажущегося наклона растрового изображения составляет 0° – $4,5^\circ$; 3) присутствует асимметрия восприятия кажущегося наклона растрового изображения; величина иллюзии при наклоне против часовой стрелки больше, чем по часовой стрелке. Описанный феномен получил название «иллюзия наклона растрового отрезка прямой».

Экспериментальные данные позволили предположить, что иллюзии наклона растрового отрезка, Фрезера, Цольнера, «кафельной стены» и т. п. являются частными случаями более общего феномена, основанием которого выступает параллельное смещение однородных элементов изображения. Эта гипотеза получила подтверждение в другом

эксперименте, в котором в качестве независимой переменной использовали коэффициент перекрытия элементов ($k = 0$, $k = \pm 0,02$, $k = \pm 0,12$). Результаты исследования уточнили зависимость величины иллюзии наклона растрового изображения от угла наклона стимульного паттерна: иллюзия сохраняется в более широком диапазоне углов наклона (до 8° относительно вертикали).

Анализ результатов эксперимента показывает, что ни одна из известных концепций механизмов пространственной ориентации предметов в поле зрения не может объяснить всей совокупности полученных данных. Наиболее адекватно это делает теория пространственных частот, но только для случаев $k = 0$, $k = \pm 0,02$. Можно полагать, что иллюзии параллельного смещения отрезков прямой обеспечиваются различными механизмами или одним механизмом, имеющим сложную, многоуровневую организацию. В любом случае кажущийся наклон растрового отрезка прямой характеризует стык, или встречу противоположных эффектов: иллюзий Шумана и Фрезера.

При изучении восприятия параллельно смещенных сегментов в зависимости от времени предъявления обнаружен факт временной ригидности иллюзии наклона растрового отрезка прямой относительно других иллюзий. С уменьшением времени экспозиции она остается неизменной, тогда как величины иллюзий Фрезера и Шумана по-разному возрастают. Это подтверждает особое место иллюзии наклона растрового изображения в ряду родственных эффектов и демонстрирует качественные различия иллюзий Фрезера и Шумана.

Литература:

- Барабаншиков В.А. Восприятие события СПб.: Алетейя, 2002. 512 с.
- Барабаншиков В.А. Окуломоторные структуры восприятия. М.: ИП РАН, 1997.

Atherton P. R., Caporael L.R. A subjective judgment study of polygon based curved surface imagery // Proc. CHI'85 Human factors in computing systems, ACM. N.Y., 1985. P. 27-34.

Booth K., Bryden M.P., Cowan W.R., Morgan M.F., Plante B.L. On the Parameters of Human Visual Performance: An Investigation on the Benefits of Antialiasing // IEEE Computer Graphics and Applications. 1987. Vol. 9. P. 34 – 41.

Chiang C.A new theory to explain geometric illusions produced by crossing lines // Perception and Psychophysics. 1968. Vol. 3. P. 174 -176.

Cowan T. M. Some variations of the twisted cord illusion and their analyses // Perception and Psychophysics. 1973. Vol. 14. P. 553 – 564.

Crow F. C. The Aliasing Problem in Computer-Generated Shaded Images // Communications of the ACM. 1977. V. 20(11). P. 799—805.

Crow F. C. A comparison of Antialiasing Techniques// IEEE CG&A. 1981. V. 1. P. 40—48.

Festinger, White, Allyn, 1968

Fraser J. A new visual illusion of direction//British J. Psychology. 1908. V. 2. P. 307—320.

Gupta S., Sproull R. Filtering Edges for Gray-Scale Displays//SIGGRAPH'81 Conference Proceedings, Computer Graphics. 1981. V. 15. P. 1—5.

Howard I.P. Human visual orientation. N.Y.: John Wiley. 1982. 320 p.

Piaget J. The mechanisms of perception. N.Y.: Basic Books, 1969. 284 p.

Robinson J.O. The psychology of visual illusion. Mineola, N.Y.: Dover Publications, inc., 1998. 290 p.

Schumann F. Beiträge zur analyse der Gesichtswahrnehmungen // Z. Psychol., 1900, N.23 S. 1-33.

Silverstein L.D., Krantz J.H., Gomer F.E., Yeh Yei-Yu, Monty R.W. Effects of spatial sampling and luminance quantization on the image quality of

color matrix displays // J. optical society of America. 1990. Vol. 7. P. 1995 – 1968.

Stuart G. W., Day R. H. The Fraser illusion: Complex figures//Perception and Psychophysics. 1991. V. 49. P. 456—468.

Stuart G. W., Day R. H. The Fraser illusion: Simple figures//Perception and Psychophysics. 1988. V. 44. P. 409—420.

Tanner P. P., Jolicoeur P., Cowan W. B., Booth K., Fishman F. D. Antialiasing: A technique for smoothing jagged lines on a computer graphics image: An implementation on the Amiga//Behavior research methods, instruments, and computers. 1989. V. 21. P. 59—66.

Tyler C., Nakayama K. Size interactions in the perception of orientation//Sensory experience, adaptation and perception/Eds. L. Spillman, J. R. Wooten. N. Y., 1984. p. 529—546.

БЕЛОПОЛЬСКИЙ В.И.

Психофизическая оценка читаемости статической и движущейся текстовой информации, предъявленной на внешних рекламных носителях

Аннотация. В статье обосновывается психофизический подход к восприятию знаковой информации в условиях естественной городской среды. Использована модель пространственно-временной фильтрации изображения, позволяющая описать все основные параметры читаемости статической и движущейся текстовой информации. Приведены графики расчета пространственных зон читаемости в зависимости от размера букв, их контраста и динамических характеристик предъявления.

Проблема. Оценка эффективности восприятия информации, предъявленной на внешних (уличных) рекламных носителях (растяжки, билбордеры, вывески, светодиодные панели, широкоформатные телеэкраны, крышные конструкции и т.д.) имеет свою специфику по сравнению с восприятием печатного текста в журнале, газете или на листовке и текста, предъявленного на дисплее. Отметим следующие особенности восприятия внешней рекламы (ВР):

1. Дистанция рассматривания. Минимальное расстояние, на котором рассматривается ВР, составляет примерно 5 м, максимальное же зависит от конкретных условий размещения ВР и может достигать порядка 1000 м, а иногда и больше. Для сравнения — рекламная информация, напечатанная на бумажном носителе или предъявленная на дисплее, рассматривается с расстояния 30–60 см.

2. Визуальный угол, который занимает внешний рекламный носитель, зависит от его горизонтальных размеров, тесно связанных с конструктивными особенностями, и от дистанции рассматривания, варьируя в диапазоне от 5 до 90 угл. град, тогда как колонка книжного текста обычно охватывает от 10 до 20 угл. град.

3. Ограниченное время восприятия ВР, поскольку часто она воспринимается в движении или в режиме смены изображения на рекламном носителе.

4. Широкий диапазон уровней фоновой освещенности и контраста, зависящий от времени дня и года, атмосферных условий и конструкции ВР (внешняя подсветка, самосветящиеся элементы).

Учитывая разнообразие технологий экспозиции ВР, а также высокую стоимость ее изготовления, необходимо уже на стадии проектирования представлять себе эффективность того или иного решения в конкретных условиях экспозиции рекламного изображения. Ниже будет представлен

психофизической подход к расчету диапазона эффективного восприятия статической и движущейся информации, предъявленной на внешних рекламных носителях.

Теоретическое обоснование

Для восприятия ВР первостепенное значение имеют задачи опознания графических изображений (фирменной символики) и считывания текстовой информации. В приведенных ниже расчетах акцент будет сделан на последней задаче, предъявляющей более высокие требования к условиям наблюдения. Наряду со зрительными механизмами различения и пространственной суммации, обеспечивающими низший уровень обработки неподвижных изображений, отображение временной размерности стимуляции (мелькание и движение) в субъективном образе опосредуется инерционностью зрительной системы и параметрами временной суммации (Кравков, 1951; Логвиненко, 1985; Луизов, 1961). Существенную роль в восприятии движения играют и движения глаз наблюдателя, модулирующие проксимальную стимуляцию (Юнг, 1969; Belopolsky, 1989). Механизмы зрительного опознания и семантической интерпретации обеспечивают решение конкретной перцептивной задачи. Мерой различимости неподвижных объектов традиционно является острота зрения, которая, при определенной величине оптической рефракции глаза, является функцией многих переменных: контраста, уровня адаптации сетчатки, местоположения тест-объекта на сетчатке, его удаленности, времени предъявления и типа тест-объекта (Розенблюм, 1973).

Однако приводимые в вышеупомянутых работах эмпирические данные и формулы могут быть использованы лишь для грубой (предварительной) оценки, поскольку по ним рассчитывается видность лишь отдельного символа или линии.

В последние 40 лет разрабатывается более общий подход, в основе которого лежит представление о пространственно-временной фильтрации изображения в зрительной системе (Логвиненко, 1985, 1982; Kelly, 1979; Nakayama, 1985). Входящий в глаз световой поток рассматривается как функция распределения освещенности, независимыми размерностями которой являются две пространственные координаты и ось времени. Из допущения о линейности психофизического оператора вытекает ряд важных следствий, в частности, возможность использовать теорему Фурье для идентификации психофизического оператора. Любую размерность изображения (пространственную или временную) можно разложить в ряд синусоидальных функций, а идентификация психофизического оператора сводится к поиску амплитудных и фазовых коэффициентов передачи. Для целей исследования были созданы специальные стимулы — прямолинейные решетки, имеющие профиль яркости, выраженный формулой:

$$L_x = L_0 (1 + M \sin 2\pi f x) \quad (1),$$

где L_0 — средняя яркость, M — контраст, а f — пространственная частота.

Измерение функции контрастной чувствительности для таких решеток — стационарных либо мелькающих — позволяет учесть влияние как размера, так и времени экспозиции объекта на его зрительную заметность (различимость). Рисунок 1 дает представление о функциональных зависимостях между контрастной чувствительностью (величина, обратная пороговому контрасту) с одной стороны, и пространственной либо временной частотой — с другой (Логвиненко, 1985). При рассмотрении кривых, приведенных на рисунке 2, нужно иметь в виду два выражения — формулу Майкельсона для определения контраста

(3) и отношение, связывающее временную частоту (TF) с пространственной частотой (SF) и угловой скоростью (V) изображения (3).

$$M = \frac{L_{\max} - L_{\min}}{L_{\max} + L_{\min}} \quad (2)$$

где L_{\max} и L_{\min} - яркость участков решетки с, соответственно, максимальной и минимальной величиной яркости.

$$V = TF/SF \quad (3)$$

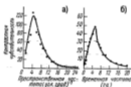


Рис.1. Контрастная чувствительность как функция пространственной (а) и временной частот (б).

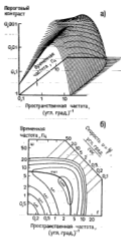


Рис.2. Пространственно-временная функция контрастной чувствительности для обнаружения синусоидальной решетки в условиях стабилизации изображения относительно сетчатки глаза (Kelly, 1979).

а — трехмерный график, б — картографическая проекция а.

При рассматривании движущихся изображений, особенно при их медленном движении, автоматически возникают плавные прослеживающие движения глаз, имеющие латентный период порядка 150 мс. Когда скорость движения прослеживаемого изображения < 15 о/с то скорости глаза и изображения практически совпадают (Юнг, 1969). При больших скоростях движения возникает разница в этих скоростях, ухудшающая видность рассматриваемого объекта.

На рисунке 2а приведены результаты, полученные Келли (Kelly, 1979) для условий стабилизации рассматриваемого изображения решетки относительно сетчатки глаза. Каждая кривая отображает данные для разных скоростей движения. На рисунке 2б представлена контурная карта пространственно-временных пороговых поверхностей, использующая данные, показанные на рисунке 3а. Каждая контурная линия отстоит от соседней на 1 лог. ед. порога. Ось времени ориентирована под углом - 45 град (см. уравнение 3), так что линии равной скорости параллельны направлению + 45 град. при использованных логарифмических осях координат.

Существенные данные об оптимальных условиях восприятия движущихся сложных изображений, дают исследования, посвященные чтению движущегося текста (Belopolsky, 1989; Legge et al., 1985, 1986, 1987), а также опознавания человеческих лиц (Логвиненко, 1982).

Полученные в рамках этого подхода результаты можно суммировать следующим образом:

1) Для неподвижных изображений функция контрастной чувствительности имеет максимум в области пространственных частот 3–5 циклов/град и уменьшается при увеличении и уменьшении пространственных частот;

2) Движение оказывает на восприятие эффект, эквивалентный изменению частотного спектра изображения, а именно, обрезанию высоких частот, понижению и смещению максимума контрастной чувствительности в сторону низких частот.

3) Скорость чтения начинает снижаться, когда радиальная пространственная частота (в направлении движения) символьных изображений становится меньше 2 циклов/символ и когда символы составлены из матрицы, содержащей менее чем 8 x 8 элементов.

4) Скорость чтения остается почти постоянной при изменении размеров символов (расстояние между центрами 2 соседних символов) от 0,3 до 2 угл. град.

5) Скорость чтения остается почти без изменения при уменьшении контраста символов с фоном с 0,96 до 0,3; уменьшение контраста до 0,1 ведет к снижению скорости чтения почти в 1,5 - 2 раза в оптимальном диапазоне размеров символов (см. рисунок 3). Уменьшение контраста меньше влияет на скорость чтения букв большого размера, чем маленьких букв. При символах размером менее 0,5 угл. град. влияние контраста становится особенно сильным.

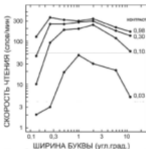


Рис.3. Скорость чтения в зависимости от ширины букв для четырех уровней контраста (Legge et al., 1985).

6) Получено хорошее совпадение по форме функций контрастной чувствительности для движущихся символов в процессе чтения и для фликурирующих (4 Гц) синусоидальных решеток в зависимости от их пространственной частоты. При этом контрастные пороги для чтения в 2 раза выше, чем для различения решеток.

7) Для движущихся изображений лиц снижение точности опознавания начинается при скорости 15-18 угл./град/с, что соответствует полосе фильтрации примерно 3 цикла/град. То есть области средних и высоких пространственных частот не оказывают влияния на успешность опознавания лиц.

Таким образом, данные о скорости чтения неподвижного и движущегося текста и опознании лиц, а также данные, отображенные на рисунке 2б, могут служить основой для расчета видности изображения, если известны его частотный спектр, скорость движения с учетом компенсационных движений глаз (эквивалентная сетчаточная скорость) и критическая величина контрастной модуляции (порога) для данного типа перцептивной задачи.

Расчетная модель

Внешние рекламные изображения рассчитаны на привлечение внимания потенциальных потребителей рекламы в пределах определенной пространственной зоны. В соответствии с эргономическими требованиями (Эргономика, 1983) оптимальная удаленность наблюдателя от информационного носителя, при которой данный носитель охватывает зрительный угол 20–30 град, должна быть примерно в 2-2.5 раза больше его ширины. Соответственно, для наиболее распространенных размеров рекламных носителей 3–9 м (по горизонтали), оптимальная дистанция рассматривая составляет, соответственно, от 6 до 34 м. Однако это лишь общие рекомендации, наша же задача — уметь вычислять *пространственную зону максимальной и предельной читаемости рекламного изображения*, имея на входе модели такие его параметры как: 1) размер знака (буквы), 2) уровень контраста и 3) скорость движения. Минимальную дистанцию рассматривания ВР примем 5 м.

Построим графики максимальной скорости чтения неподвижных и движущихся текстов для $K=0.3$ и $K=0.1$. (См., соответственно, рисунки 4 и

5). В качестве исходных значений возьмем максимумы скорости чтения в зависимости от угловых размеров символов при соответствующем контрасте и контрастные пороги чтения в зависимости от размера букв (Belopolsky, 1989; Legge et al., 1985, 1987). Примем во внимание также, что для чтения неподвижных текстов с максимальной скоростью длина строки не должна быть меньше 20 знаков, тогда как для движущихся текстов снижение скорости чтения начинается только при длине строки менее 5 знаков (Legge et al., 1985; Tinker, 1965).

Для удобства переведем все угловые величины в линейные и отобразим их в логарифмических координатах размера /удаленности. Скорости чтения для контраста 0.3 выразим в буквах за секунду (средняя длина слова в русском языке составляет примерно 6 букв). Цифра в скобках обозначает максимальную скорость чтения при контрасте 0.1. Поскольку скорость чтения определяется угловыми размерами букв, то получаем семейство линий равной читаемости. Сплошные линии обозначают оптимальные условия, пунктирные и точечные — затрудненные условия чтения. Заштрихованы зоны оптимальной читаемости, когда величина рекламных носителей составляет 20 м по горизонтали. Из сравнения рисунков 4 и 5 видно, что предъявление движущегося текста позволяет использовать буквы большей величины, что значительно расширяет дальнюю границу зоны читаемости рекламы.

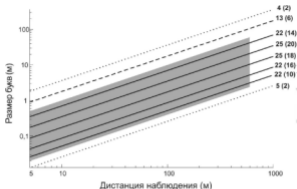


Рис. 4. График для расчета зоны читаемости движущихся рекламных текстов в при заданных размерах букв и уровне их контраста. По вертикальной оси — размер символа или буквы, по горизонтальной — расстояние наблюдения (в метрах). Линии связывают точки с одинаковой скоростью чтения. Цифрами обозначены максимальные скорости чтения в буквах/секунду при $K=0.3$ (в скобках — при $K=0.1$). Заштрихованы зоны с оптимальной читаемостью

Рис.5. То же, что и на рис.4, но для неподвижного текста.

Таким образом, используя графики на рисунках 4 и 5 и зная размер используемых букв, можно определить предельную скорость считывания статической и динамической текстовой информации с той или иной дистанции наблюдения. Эти данные позволяют вычислить эффективное время наблюдения рекламного изображения, при котором считывается вся присутствующая на нем информация. Можно предложить следующую формулу для расчета эффективного времени наблюдения (T , сек):

$$T = 0.5 \cdot \varphi + \Sigma (V/2(S+W) + 0.2 \cdot L) + 1.0 \cdot P \quad (4)$$

где φ — число текстовых фрагментов на рекламном изображении, $V_i / 2$ — половина максимальной скорости считывания для i -того фрагмента, S — число букв в i -том фрагменте, W — число слов в i -том фрагменте; L — число строк в i -том фрагменте, P — число привлекающих внимание изобразительных элементов.

Константа 0.5 определяет время обнаружения и локализации i -того текстового фрагмента, 0.2 — время на переход с одной строки на другую, 1.0 — время опознания каждого изображения.

Учет дополнительных параметров восприятия

Цветовые контрасты. Кроме яркостного контраста, на читаемость изображений оказывают влияние их цветовые решения. В условиях высокого яркостного контраста изменение знака контраста (темные буквы на светлом фоне и светлые буквы на темном фоне) очень незначительно влияет на скорость чтения. Использование окрашенных (красных, синих, зеленых и серых) букв на темном фоне, уравненных по яркостному контрасту, не выявило заметных различий в скорости чтения движущегося текста, за исключением букв околорогового размера (Legge et al., 1986). Однако для неподвижного текста обратный контраст читается на 11 – 33% медленней, чем прямой (Tinker, 1965). Возможно, это объясняется разностью в яркостных контрастах.

Различимость цветовых пар в порядке убывания следующая (Tinker, 1965):

1. Черный на белом
2. Синий на белом
3. Черный на желтом
4. Зеленый на белом
5. Красный на желтом
6. Красный на белом

7. Зеленый на красном
8. Оранжевый на черном
9. Оранжевый на белом
10. Черный на пурпурном
11. Красный на зеленом

Отражательные характеристики поверхности изображения.

Сравнение матовой, умеренно глянцевой и сильно глянцевой бумаги, на которой был напечатан текст, не дали сколько-нибудь существенных различий в скорости чтения (различия в пределах 5%).

Роль освещения. Скорость чтения средне- и низкоконтрастного текста существенно падает при яркости фона менее 30 кд/м². Следует также учесть падение контраста с расстоянием. Электрическая подсветка должна обеспечивать яркость фона 80-100 кд/м². То же относится и к самосветящимся рекламным носителям.

Выводы

1. Расчет объема текстовой информации на 1 рекламное изображение нужно проводить по данным, отображенным на рисунках 4 и 5 и по формуле (4).
2. Учитывая зачастую неблагоприятные условия наблюдения, необходимо ориентироваться на диапазон оптимальной читаемости предъявляемого текста или изображения.
3. Более заметными и читаемыми являются отдельные изображения типа фирменных знаков, знакомых предметов и т.п. Для рекламных текстов нужно соблюдать следующие требования:
 - а) размер букв не должен быть меньше 10 см (по ширине);
 - б) центрировать текстовую строку или выравнивать ее по левому краю рекламного изображения;

в) использовать контрастные крупные буквы в предпочитаемых цветовых комбинациях;

г) не использовать более 2 разных шрифтов;

д) не использовать многострочных надписей, так как это удлиняет время считывания информации. Необходимо исходить из возможности считывания основной информации с рекламного носителя за время не более 5 секунд.

Библиография:

Кравков С.В. Глаз и его работа. М., 1951.

Логвиненко А.Д. Чувственные основы восприятия пространства. МГУ, 1985.

Луизов А.В. Инерция зрения. М., 1961.

Розенблюм Ю.Э. Основные направления в исследовании остроты зрения // Новые методы функциональной диагностики в офтальмологии. Труды Московского НИИ им. Гельмгольца, Вып.17, 1973, 178-200.

Фурье-анализ зрительного изображения // Под ред. А.Д. Логвиненко. М.: МГУ, 1982.

Юнг Р. Оптическая регуляция движений глаз, внимание и восприятие движения // Системная организация физиологических функций. М., 1969.

Эргономика: принципы и рекомендации. Методическое руководство. М., 1983.

Belopolsky V.I. Eye movement parameters during reading of moving text / Perception (Great Britain), 1989, 18 (4) : A42.

Kelly D.H. Motion and vision. II. Stabilized spatio-temporal threshold surface // Journal of Optical society of America, 69 : 1340-1359, 1979.

Legge, G.E., Pelli,D.G., Rubin,G.S., Schleske,M.M. Psychophysics of reading. - I. Normal vision // Vision Research, 25 : 239 - 252, 1985.

Legge, G.E., Rubin, G.S. Psychophysics of reading.- IV. Wavelength effects in normal and low vision // Journal of Optical society of America A, 3 : 40-51, 1986.

Legge, G.E., Rubin, G.S., Luebker, A. Psychophysics of reading. - V. The role of contrast in normal vision // Vision Research, 27 : 1165 - 1177, 1987.

Ludvigh, E. Visibility of moving objects // Science, 108: 63, 1948.

Nakayama, K. Biological image motion processing: a review // Vision Research, 25 : 625-660, 1985.

Tinker M.A. Bases for Effective Reading. 1965.

БИБИКОВ Н.Г., ИЩЕНКО С.М.

Пороги обнаружения периодичности сигнала при наличии шумовой модуляции – признаки стохастического резонанса

Работа была поддержана грантом РФФИ 05-04-48671

Аннотация. У 8 испытуемых методом четырехинтервального двухальтернативного вынужденного выбора определяли пороги обнаружения синусоидальной амплитудной модуляции частотой 20 Гц, присутствующей в тональных отрезках с несущей частотой 2 кГц длительностью 1 сек. Эксперименты вели в контрольных условиях и при наличии в сигнале случайного модулирующего шума, различного уровня. Глубина шумовой амплитудной модуляции определялась по величине среднеквадратичного отклонения и варьировала от единиц до тридцати процентов. У большинства испытуемых была выявлена область уровней шумовой модуляции, при которой пороги обнаружения периодической модуляции оказались ниже, чем в условиях отсутствия шума. Полученные данные обсуждаются в связи с эффектом стохастического резонанса, выявленного при исследовании одиночных нейронов слуховой системы.

Одной из основных задач, выполняемых слуховой системой при распознавании сложных звуков, является определение периодичности временной структуры сигнала. Поскольку на периферии слуха осуществляется разделение сигнала по частотным составляющим, даже сложные широкополосные сигналы в каждом отдельном волокне слухового нерва представлены временной функцией изменения амплитуды в определенной (обычно довольно узкой) полосе частот. Поэтому изучение кодирования амплитудной модуляции тональных сигналов представляет собой во многом универсальное средство исследования механизмов выявления периодичности и анализа сложных звуков. В частности, хорошо известно, что при восприятии речи важную, если не решающую роль играют изменения амплитуды сигнала в диапазоне 2-20 Гц (Shannon et al, 1996; van Tasel et al, 1977). Столь же важны модуляции амплитуды сигнала в этом диапазоне частот и при восприятии многих других звуков, включая большинство коммуникационных сигналов животных.

Исследованию как физиологических, так и психоакустических аспектов кодирования амплитудной модуляции посвящено значительное число работ. В процессе физиологических исследований, выполненных на нейронах ствола мозга амфибий, одним из авторов работы было продемонстрировано значительное усиление эффективности выделения модуляции в процессе кратковременной (до 1 сек) и долговременной (единицы секунд) адаптации (Bibikov, Nizamov, 1996; Бибииков, 2004). Эти эффекты были также продемонстрированы в психофизических экспериментах (Бибииков, Макеева, 1989; Canevet et al, 1991). Фактически об этом же свидетельствуют низкие пороги обнаружения модуляции, полученные в режиме полной адаптации (Тумаркина, Дубровский, 1966).

Недавно в электрофизиологическом эксперименте был выявлен другой фактор, влияющий на эффективность выделения модуляции в

одиночных нейронах слуховой системы. Оказалось, что в адаптированном режиме многие нейроны существенно усиливают свою активность и повышают эффективность кодирования слабой синусоидальной амплитудной модуляции при введении в огибающую, наряду с периодической компонентой, случайного шумового сигнала. Это явление, полностью соответствующее эффекту стохастического резонанса, впервые было продемонстрировано на одиночных нейронах слухового центра среднего мозга амфибий (Bibikov, 2002). Настоящее исследование ставило своей целью предварительное исследование влияния шумовой модуляции на пороги обнаружения синусоидальной модуляции тонального сигнала у человека.

В опытах принимали участие восемь испытуемых, но степень подробности исследования зависимости порогов от шумовой модуляции для разных испытуемых была различной. Сигналы предъявлялись на калиброванные телефоны при средних значениях уровня звукового давления 70-90 дБ. Каждое испытание включало последовательность из четырех тональных отрезков, имеющих частоту 2000 Гц, длительность 1 сек, и разделенных интервалом в 0,2 сек. Первый и последний отрезки не содержали периодической компоненты модуляции и представляли собой либо отрезки чистого тона (контроль), либо были модулированы шумовым сигналом в некоторой полосе частот (обычно 0-50 Гц). Либо во второй, либо в третий отрезок с равной вероятностью добавлялась синусоидальная модуляция частотой 20 Гц. При первом испытании она была заведомо слышна. Задача испытуемого состояла в обнаружении отрезка с синусоидальной модуляцией. В случае двух правильных ответов испытуемого уровень синусоидальной составляющей уменьшали, при ошибке испытуемого его увеличивали. Всего эксперимент велся до восьми инверсий направления изменения уровня. Среднее значение уровня

синусоидальной составляющей при шести последних инверсиях принималось за порог обнаружения.

Практически у всех исследованных испытуемых при определенном уровне шумового сигнала мы наблюдали снижение порога обнаружения синусоидальной модуляции по сравнению с условиями, когда шум в модулирующей функции отсутствовал полностью. В данной работе будет приведено два примера, один из которых получен на испытуемом с обычными порогами обнаружения амплитудной модуляции, а другой на одном опытном испытуемом, у которого пороги обнаружения модуляции были необычно низкими.

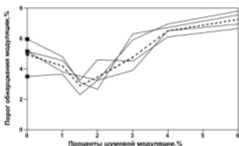


Рис.1. Зависимость порога обнаружения синусоидальной модуляции от глубины шумовой модуляции. Исп.1. Частота синусоидальной модуляции – 20 Гц, полоса шумовой модуляции 0-50 Гц. Приведены три серии измерений и среднее значение (пунктир). Значения, полученные в отсутствие шумовой модуляции, обозначены квадратами для отдельных серий и звездочкой для среднего значения.

На рис. 1 приведена зависимость порога обнаружения синусоидальной модуляции от глубины шумовой модуляции для первого испытуемого. Видно, что в определенном диапазоне уровней шума

(приблизительно 1-3%) эти пороги ниже контрольного значения, указанного на оси ординат. Качественно близкие даны были получены еще у пяти испытуемых.

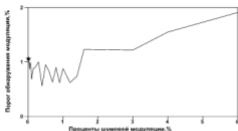


Рис.2. Зависимость порога обнаружения синусоидальной модуляции от глубины шумовой модуляции. Исп.2. Частота синусоидальной модуляции – 20 Гц, полоса шумовой модуляции 5-15 Гц. Для каждого уровня шума приведены средние значения порога, усредненные по 3-21 экспериментам.

Несколько иные данные были получены у испытуемого, для которого были характерны чрезвычайно низкие пороги обнаружения модуляции в условиях отсутствия шума (рис.2). В этом случае мы использовали шумовую модуляцию в полосе частот ниже частоты синусоидальной, периодической модуляции. Снова с несомненностью обнаруживается облегчающее действие шумовой модуляции, но в этом случае оно проявляется при очень малых уровнях шума и фактически пропадает при среднеквадратичном значении шума в 1,5 -2%. Обращает на себя внимание изрезанность функции, которая вероятнее всего определяется просто статистическим разбросом. Отметим, однако, что значение, полученное в отсутствие шума, было усреднено по 21 эксперименту, так что отличие значений, полученных в диапазоне уровней

шума 0,2-1,2% от этого контрольного значения является вполне достоверным ($p < 0,001$).

Таким образом, в соответствии с физиологическими данными (Bibikov, 2002) в психоакустическом эксперименте нами обнаружен облегчающий эффект шумового воздействия на обнаружение слабой периодичности. Этот эффект выражен обычно при среднескватрическом уровне шума, несколько меньшем порога обнаружения модуляции в контроле. При дальнейшем усилении шумовой составляющей пороги обнаружения периодической модуляции начинают расти. Все эти свойства характерны для явления стохастического резонанса. У человека эффект улучшения выделения периодичности при добавлении шума выражен не столь ярко, как при анализе активности некоторых нейронов слуховой системы амфибий, что могло явиться причиной того, что он не был описан ранее. Однако, например, при анализе данных приведенных в одной из последних работ (Millman et al, Fig 6) можно заметить некоторое снижение порога именно в том диапазоне среднескватрических уровней шума, который приводил к снижению порога обнаружения периодичности в наших экспериментах. Отметим, что в этой работе сигнал представлял собой тон частотой 5 кГц, модулированный синусоидой 16 Гц, а шум был в полосе 12-20 Гц. Кроме того, обратим внимание, что длительность сигнала в этой работе, (как и в нашей) составляла 1 сек. Напомним, что в электрофизиологическом эксперименте (Bibikov, 2002) ответы регистрировались в состоянии длительной адаптации, измеряемой в минутах.

Чрезвычайно низкие пороги обнаружения амплитудной модуляции у испытуемого 2 могли быть вызваны эффектом выравнивания громкости, вследствие некоторой потери слуха. Такое явление было отмечено в ряде работ. Так, из данных работы (Fullgrabe et al, 2003, fig 2) следует, что среднее величина порог обнаружения модуляции на частоте 16 Гц у

здоровых испытуемых составила 6,6%, в то время, как у испытуемых с высокочастотной потерей слуха при тех же или даже меньших уровнях ощущения порог был в два раза меньше. Эффект стохастического резонанса у этого испытуемого был слабее, чем у первого скорее всего просто вследствие невозможности дальнейшего повышения чувствительности.

Программа для проведения психофизического эксперимента была создана В.Н. Теленевым.

Библиографии:

Бибиков Н.Г. Процессы адаптации в нейронах слуховой системы лягушки // Биофизика. 2004. Т. 49. С. 107-120.

Бибиков Н.Г., Макеева И.П. Слуховые адаптации и пороги обнаружения амплитудной модуляции // Акустический журнал. 1989. Т. 35. С. 1004-1010.

Тумаркина Л.Н., Дубровский Н.А. Некоторые особенности восприятия человеком амплитудно-модулированных сигналов // Биофизика. Т. 11. С.653-658.

Bibikov N.G. Addition of noise enhanced neural synchrony to amplitude-modulated sounds in the frog's midbrain // Hearing Research. 2002. V.173 . P. 21-28.

Bibikov N.G., Nizamov S.V. Temporal coding of low-frequency amplitude modulation in the torus semicircularis of the grassfrog // Hearing Research, 1996. V. 101. P. 23-44.

Canevet G., Scharf B., Ward L.M. Detection d'un increment d'intensite et adaptation de sonie // Acustica, 1991. V. 74. P. 69-76.

Fullgrabe C.; Meyer B., Lorenzi C. Effect of cochlear damage on the detection of complex temporal envelopes // Hearing Research, 2003. V. 178. P. 35-43

Millman R.E., Green G.R., Lorenzi C., Rees A. Effect of a noise modulation masker on the detection of second-order amplitude modulation // Hearing Research, 2003. V. 178. P. 1-11.

Shannon R.V., Zeng F., Kamath V., Wyganski J., Ekelid M. Speech recognition with primarily temporal cues // Science, 1995. V. 270. P. 303-304.

van Tasell D.J., Soli S.D., Kirby V.M., Widin G.P. Speech waveform envelope cues for consonant recognition // Journal of Optical society of America, 77. 1987. P. 1069-1077.

ГОЛОВИНА Е.В.

Когнитивно-стилевой портрет человека, уверенного в сенсорных впечатлениях

Аннотация. В работе исследуются взаимосвязи уверенности человека в сенсорных впечатлениях и когнитивных стилей, основываясь на парадигмах «субъективной психофизики», «реализма» уверенности и феномене «расщепления полюсов» когнитивных стилей. Описан психологический портрет человека уверенного в сенсорных впечатлениях.

Работа выполнена в русле субъективной психофизики - перспективного направления науки, которое подчеркивает активность и индивидуальность субъекта в процессе решения психофизической задачи (Бардин и др. 1988, 1991, 1993; Скотникова, 2002, 2003). В данном контексте уверенность выступает как «переменная субъекта», определяющая решение сенсорной задачи (Вайнер, 1990; Скотникова, 1998, 2002, 2005; Гусев, 2004). В качестве индивидуально - психологических коррелят уверенности изучаются когнитивные стили, так как именно этот класс свойств

индивидуальности характеризует индивидуальную специфику познавательной сферы человека.

Впервые феномен «расщепления» полюсов когнитивных стилей и выделения стилевых подгрупп (Холодная, 1999) стал учитываться при изучении уверенности (Головина, 2004). Парадигма изучения «реализма» уверенности (Д. и П. Адамс, 1958 и мн.др.) применена для анализа стилевых характеристик выполнения сенсорной задачи.

Гипотеза исследования: уверенность в сенсорных впечатлениях взаимосвязана с когнитивно-стилевой организацией субъекта.

Испытуемые: мужчины и женщины в возрасте 18-29 лет с нормальным зрением – 64 человека.

Методика исследования.

В исследовании использовалась компьютерная методика, предназначенная для экспериментального исследования зрительного различения человеком временных интервалов, а также его уверенности в правильности выносимых им решений (Скотникова, Садов). Исследовалось пороговое зрительное различение длительностей в парах последовательных световых вспышек голубого люминесцентного индикатора прямоугольной формы яркостью около 20 *lm/m* и угловым размером 11,5°. Использовалась экспериментальная парадигма «да-нет» с процедурой различения «одинаковые-разные» («same-different») и техникой лестниц для определения разностного порога. Длительность одного сигнала всегда составляла 600 мс («нейтральный интервал», наиболее адекватно воспринимаемый человеком), длительность другого (600 мс+ Δt) подбиралась индивидуально для каждого испытуемого в предварительных сериях как соответствующая традиционному разностному порогу Δt для 70÷80%-ного правильного различения. Пары одинаковых (по 600 мс каждый) и разных стимулов (600 мс и 600 мс + Δt), а также место более длительного стимула в парах разных стимулов были

равновероятны и чередовались в случайном порядке. Интервал между вспышками в паре составлял 1 с, время на ответ (интервал между парами) не ограничивалось. После определения индивидуального порога испытуемого и тренировочных опытов с использованием выбранной индивидуальной величины Δt проводился основной опыт из 100 проб.

В каждой пробе испытуемые давали два ответа: 1) оценивали длительности в каждой паре как «одинаковые» или «разные» и 2) оценивали, уверены или сомневаются они в правильности первого ответа, т.е. в правильности различения. Нейтральная инструкция задавала симметричный критерий принятия решения и ориентировала испытуемых давать как можно более точные ответы. Фиксировались характер и время каждого первого моторного ответа.

Оценивались следующие психофизические характеристики различения: порог различения длительностей (разностный порог Δt); общая по эксперименту пропорция правильных ответов (PC); средняя категория уверенности в целом по эксперименту (MX); принятый показатель реализма уверенности: смещение ($Bias - B$) средней категории уверенности относительно правильности ответов в целом по эксперименту. (Математические формулы вычисления вышеуказанных показателей см. Скотникова, 2002).

Также на тех же испытуемых были продиагностированы когнитивные стили «Диапазон субъективной эквивалентности», «Поле(не)зависимость», «Импульсивность-Рефлексивность».

Для проведения статистического анализа полученных данных использовались корреляционный, уровневый, кластерный и факторный анализы.

Результаты исследования.

Уверенность в решении сенсорной задачи и стиль «Диапазон субъективной эквивалентности». Корреляционный анализ выявил значимые положительные взаимосвязи между средней категорией уверенности и средним количеством групп в субтестах «Время» и «Рельеф» ($R_s = 0,3$; $p = 0,015$). Кластерный анализ (метод Уорда) позволил выделить в данном стиле 4 подгруппы испытуемых, получившиеся в результате введения дополнительного показателя – коэффициента категоризации, которые можно проинтерпретировать как категоризаторов, глобалистов, дифференциаторов и детализаторов (подробное описание психологических характеристик подгрупп всех стилей - см. Холодная, 2004).

Уверенность в решении сенсорной задачи и стиль «Поле(не)зависимость».

Корреляционный анализ выявил значимую положительную взаимосвязь между средней категорией уверенности и коэффициентом обучаемости ($R_s = 0,31$; $p = 0,013$).

Кластерный анализ (метод Уорда) позволил выделить 4 подгруппы испытуемых, получившиеся в результате введения дополнительного показателя – коэффициента обучаемости, которые можно проинтерпретировать как мобильных полenezависимых (МПНЗ), фиксированных полenezависимых (ФПНЗ), мобильных полезависимых (МПЗ) и фиксированных полезависимых (ФПЗ).

Анализ значимости различий в уровне характеристик между стилевыми подгруппами (критерий Манна-Уитни) выявил значимые различия между подгруппами фиксированных ПНЗ и мобильных ПНЗ по показателю уверенности в решении сенсорной задачи ($p = 0,03$). Более уверенными оказываются мобильные ПНЗ.

Уверенность в решении сенсорной задачи и стиль «Импульсивность - Рефлексивность». Корреляционный анализ выявил значимые отрицательные взаимосвязи между средней категорией уверенности и:

- временем первого ответа ($R_s = -0,31$; $p = 0,0014$);
- общим временем ответа ($R_s = -0,37$; $p = 0,003$).

Кластерный анализ (метод Уорда) позволили выделить в данном стиле 4 подгруппы испытуемых, которые можно проинтерпретировать как медленных неточных, быстрых неточных (собственно импульсивных), быстрых точных и медленных точных (собственно рефлексивных).

Анализ значимости различий в уровне характеристик между стилевыми подгруппами (критерий Манна-Уитни) выявил значимые различия между подгруппами собственно импульсивных и собственно рефлексивных испытуемых по показателям уверенности в правильности своих ответов при различении временных интервалов ($p = 0,02$). Импульсивные лица более уверены в правильности даваемых ответов.

Обсуждение результатов.

По стилю «Диапазон субъективной эквивалентности» более уверенными в решении сенсорной задачи по различению зрительных временных интервалов оказались лица с узким диапазоном эквивалентности (дифференциаторы и детализаторы), то есть формирующие достаточно много групп в тесте Гарднера «Сортировка объектов». Лица данного полюса ищут скорее различие в объектах и событиях, чем сходство, представляют скорее мозаичную структуру ситуации, чем целостную. А предлагаемая им сенсорная задача как раз и состояла в различении зрительных интервалов, и они чувствовали уверенность при ее решении. На основании взаимосвязей полюса узкого диапазона эквивалентности с его психологическими характеристиками можно сделать вывод, что человек, уверенный в решении сенсорной

задачи характеризуется менее сформированной системой саморегуляции, склонен к запоминанию разнообразных фактических данных, наблюдателен, эрудирован, но не способен искать суть ситуации на основании глубинных закономерностей.

По стилю «Поле(не)зависимость» уверенными в решении сенсорной задачи оказались лица с высоким коэффициентом имплицитной обучаемости (Холодная, 1999) (как полenezависимые, так и полезависимые). То есть, чем человек лучше усваивает новые знания, чем быстрее он приобретает опыт в незнакомых ему ситуациях, тем он более уверен в правильности своих ответов в психофизических экспериментах, которые сами по себе являются для него новым опытом. То есть мобильность (способность к обучению) в большей степени способствует формированию уверенности, чем сам факт полenezависимости. Как мобильным полenezависимым, так и мобильным полезависимым испытуемым приходится затрачивать некоторые усилия при выполнении заданий сенсорно-перцептивного уровня и, вероятно, эти усилия и позволяют им быть более уверенными при выполнении сенсорной задачи.

Более уверенными в своих ощущениях оказались импульсивные по стилю «Импульсивность-Рефлексивность» (тест Кагана «Сравнение похожих рисунков») лица, не затрачивающие много времени на их анализ. Эти данные согласуются с результатами Скотниковой (1993, 2002, 2005), Garriga-Trillo et al (1994). Меньшая уверенность в решении сенсорной задачи рефлексивных лиц объясняется тем, что им свойственно обдумывать, проверять, в том числе, и свои ощущения. Отсюда – и больше сомневающийся ответов. То есть, уверенный в сенсорных впечатлениях человек быстро принимает решения на недостаточной информационной основе, делает достаточно много ошибок, менее успешен в произвольном замедлении своих моторных действий.

Таким образом, на основании полученных результатов можно составить портрет человека, уверенного в своих сенсорных впечатлениях. Такой человек быстро принимает решения без тщательного предварительного анализа ситуации, недостаточно успешен в контроле своих моторных действий, быстро обучается и осваивает новое, обладает недостаточно сформированной системой саморегуляции, склонен к запоминанию разнообразных фактических данных, наблюдателен, эрудирован, но не способен искать суть ситуации на основании глубинных закономерностей.

Библиография:

Бардин К.В., Скотникова И.Г., Фришман Е.З. Психофизика активного субъекта // Мышление и общение: активное взаимодействие с миром. / Под ред. Ю.К. Корнилова. Ярославль: ЯрГУ, 1988. С.34-46.

Бардин К.В., Скотникова И.Г., Фришман Е.З. (1991) Субъектный подход в психофизике // Проблемы дифференциальной психофизики / Под ред. К.В. Бардина. М. 1991.

Бардин К.В., Ивдлин Ю.А. Начала субъектной психофизики. М.: Институт психологии РАН, 1993.

Вайнер И.В. Субъективная уверенность при решении психофизической задачи: Дисс. ... канд. психол. наук. М., 1990.

Головина Е.В. «Соотношение уверенности в решении сенсорно-перцептивной задачи с когнитивными стилями» // Сборник научных статей / Под ред. И.В. Блинниковой. М.: Высшая школа психологии, 2004. С. 12-21.

Гусев А.Н. Психофизика сенсорных задач. М.: МГУ, 2004.

Скотникова И.Г. Проблема уверенности – история и современное состояние / Психологический журнал. М.: ИП РАН, 2002. Т.23. №1.

Скотникова И.Г. Психофизика // Психология XXI века / Под ред. В.Н. Дружинина. М.: ИНФРА-М, 2003. С. 117-168.

Скотникова И.Г. Экспериментальное исследование уверенности в решении сенсорных задач // Психологический журнал. 2005. Т. 26, №4. С. 41-56.

Холодная М.А. Феномен расщепления полюсов когнитивных стилей // Интеллект и творчество / Под ред. А.В. Воронина. М.: Институт психологии РАН, 1999.

Холодная М.А. Когнитивные стили. О природе индивидуального ума. СПб.: Питер, 2004.

ЛЕБЕДЕВА Е.В., СУРНИНА О.Е.

Исследование дифференциальной чувствительности по времени в разных возрастных группах

Аннотация. Целью данной работы являлось определение относительных дифференциальных порогов по времени и их особенностей у людей пожилого и старческого возраста (55-95 лет) по сравнению с молодыми испытуемыми (17-23 года). Определение порогов осуществлялось методом постоянных раздражителей. Было обнаружено, что при уменьшении стандартного стимула у испытуемых старшей возрастной группы увеличивается величина дифференциальных порогов, т.е. ухудшается способность к различению временных интервалов. У молодых людей дифференциальная чувствительность оставалась неизменной. Кроме того, в старшей возрастной группе показана корреляционная зависимость между временем реакции и величиной дифференциального порога. Высказывается гипотеза относительно влияния двигательной активности на способность к различению временных интервалов.

Способность к различению длительностей лежит в основе формирования системы временных мер и вынесении суждений о длительности временного отрезка. Для человека такая способность имеет важное социальное значение, во многом определяя успешность различных видов его деятельности. Знание закономерностей ее развития может стать основой для создания развивающих и коррекционных программ, обеспечивающих наиболее оптимальные формы поведения, особенно в самых младших и наиболее старших возрастных группах.

В данной работе принимали участие две группы испытуемых: 58 человек пожилого и старческого возраста (55-95 лет) и 30 человек молодого возраста (17-23 года). Для выявления способности к различению временных интервалов использовался метод постоянных раздражителей. Испытуемому последовательно предъявлялась пара звуковых сигналов, один из которых всегда оставался постоянным по длительности (стандарт), а другой изменялся (тестовый стимул). Стандартный стимул всегда был первым в паре. Испытуемый должен был сравнить тестовый сигнал со стандартом, используя три категории ответа «меньше», «больше», «равно». Интервал между стимулами в паре варьировал от 0,5 до 1,5 с. Следующая пара сигналов предъявлялась сразу же после выбора испытуемым одного из возможных вариантов ответа.

Эксперимент включал в себя две серии. В первой серии стандарт был равен 0,5 с, а тестовые сигналы менялись от 0,1 до 0,9 с шагом 0,1 с. Во второй серии длительность стандартного стимула составляла 0,25 с, тестовые изменялись от 0,05 до 0,45 с шагом 0,05 с. Каждый тестовый стимул предъявлялся десятикратно в случайном порядке. У каждого испытуемого определялась величина относительного дифференциального порога ($\Delta T/T$), где ΔT – величина разностного порога, а T – длительность стандартного стимула. Значение дифференциального порога

рассчитывалось по психометрической кривой, отражающей зависимость вероятности отнесения тестового стимула к категории «больше» (ось Y) от длительности этого сигнала (ось X) (Лушандин, Сурнина, 1997).

В результате проведенных исследований выяснилось, что 16 человек из старшей возрастной группы (в основном старше 70 лет) не смогли справиться с предложенным заданием даже в первой серии. Некоторые из них отказывались его выполнять, другие не различали сигналы, либо забывали инструкцию. Таким образом, почти 28% людей пожилого и особенно старческого возраста испытывают трудности в различении коротких длительностей в пределах секунды. У молодых людей задание не вызвало затруднений. Средние значения дифференциальных порогов для обеих серий приведены на рисунке 1.

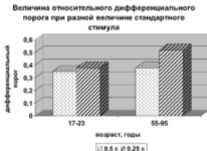


Рис. 1. Средние значения дифференциальных порогов.

Как видно из представленных данных величина дифференциальных порогов в группе молодых лиц остается практически постоянной даже при уменьшении стандартного стимула (различия носят случайный характер).

У испытуемых старшей возрастной группы происходит достоверное увеличение величины порога при уменьшении стандарта ($F_{\text{эмп.}}=9,40$, $F_{\text{кр.}}=3,99$ при $p \leq 0,05$). Поскольку во второй серии максимальная длительность сигнала равнялась 0,45 с, то можно сделать вывод, что различение длительностей в пределах указанного интервала является достаточно сложной задачей для пожилых людей.

Причины здесь могут быть разные. Это и собственно психические процессы, например, недостаточная скорость переработки поступающей кратковременной информации, ее трансформация в памяти, что ведет к ошибочным суждениям при сравнении стимулов. Но увеличение порога может быть связано и с возрастными изменениями физиологических функций. Во всяком случае, интересной представляется концепция, высказанная еще И.М. Сеченовым, а позже подтвержденная другими исследователями, относительно влияния проприоцептивной афферентации (физической активности субъекта) на точность оценки времени (Сеченов, 1995; Моисеева, Сысоев, 1981; Лебедева, Сурнина, 2003). Исходя из этой концепции, логично предположить, что чем выше будет активность человека, тем меньше будет порог и наоборот. В качестве критерия активности можно использовать такой универсальный показатель как время реакции. С целью проверки этого предположения в старшей возрастной группе была проведена дополнительная серия по определению времени реакции на световой стимул. В дальнейшем вычислялся коэффициент корреляции (Пирсона) между величиной дифференциального порога и временем реакции.

Оказалось, что эти параметры статистически достоверно связаны между собой. Коэффициент корреляции (r) для первой серии равен 0,26, для второй - 0,37 при критическом значении $r=0,25$ ($p \leq 0,05$). Но если для первой серии, где стандартный стимул был больше (0,5 с), коэффициент корреляции лежит на границе достоверности, то для второй серии

(стандарт равен 0,25 с) эта связь выражена более отчетливо. Это означает, что при уменьшении стандарта, т.е. ухудшении условий различения, немаловажную роль будет играть физическая активность пожилого человека, в частности, его способность к быстрому реагированию. Таким образом, по-видимому, двигательная активность человека способствует не только более точной оценке времени, как отмечается в литературе, но и сохранению способности различать короткие временные интервалы. Не исключается и другой вариант: именно высокая временная различительная способность лежит в основе тонких и быстрых двигательных реакций. Решение этого вопроса выходит за рамки данной работы и требует дополнительных исследований.

Полученные в работе результаты позволяют сделать **следующие выводы.**

Около 30% людей старше 55 лет утрачивают способность различать короткие временные интервалы в пределах секунды.

При уменьшении стандартного стимула у пожилых людей увеличивается величина дифференциального порога, т.е. ухудшается способность различать короткие (до 0,5 с) интервалы времени.

В старшей возрастной группе величина дифференциального порога обнаруживает положительную корреляцию с временем реакции.

Библиография:

Лебедева Е.В., Сурнина О.Е. Особенности субъективных временных шкал у пожилых людей от 60 до 80 лет // Валеология. 2003. № 2. С. 27 – 32.

Лупандин В.И., Сурнина О.Е. Психофизика. Екатеринбург: Уральский государственный университет, 1997.

Моисеева Н.И., Сысуев В.М. Временная среда и биологические ритмы. Л.: Наука, 1981.

Сеченов И.М. Психология поведения. М.: «Институт практической психологии», Воронеж: «Модекс», 1995.

МАТВЕЕВА Л.В., МОЧАЛОВА Ю.В., АНИКЕЕВА Т.Я.,
КАРАВАНОВА Е.Е.

Измерение и идентификация эмоциональных переживаний в информационной коммуникации

Аннотация. В работе приводятся результаты экспертной оценки базовых эмоциональных переживаний, которые демонстрируются с монитора компьютера. Дифференцирующими показателями для групп экспертов являются пол, возраст, экстраверсия и интроверсия. Стимульный материал был организован следующим образом: двухминутный телевизионный сюжет, где крупным планом представлен человек, переживающий определенное эмоциональное состояние, разбивался на семь слайдов; каждый слайд оценивался экспертами по 9-ти базальной шкале на наличие в нем восьми базовых эмоций (радость, неприязнь, удивление, гнев, смущение, спокойствие, страх, печаль). Оценка сюжета в целом осуществлялась по 5-ти базальной шкале по тридцати параметрам. В результате было выявлено, что эмоциональное переживание, которое испытывает человек в ситуации телевизионного общения, представляет собой сочетание нескольких базовых эмоций. При этом наибольшую компетенцию в идентификации эмоциональных переживаний показали группы женщин старше 35 лет и группа экстравертов.

Проблема измерения эмоций имеет давнюю историю и весьма драматична. Эмоции как психологическая реальность внутреннего мира

человека получают свою энергию от мотивации. Внешнее поведение человека, невербальные проявления эмоций с необходимостью учитывают реальную ситуацию, в которой находится человек, которая, в свою очередь, предъявляет к нему строгие эстетические требования, выработанные в интересах человеческого общежития. Даже будучи наедине с самим собой, а тем более в присутствии других людей, человек здравомыслящий обязан принимать решение в какой степени ему следует в сложившихся обстоятельствах «держаться в руках» и позволить сильному чувству овладеть собой, то есть дать волю своим чувствам.

Такое, санкционированное культурой, подавление своих чувств или, наоборот, самоуверенное искусственное их подогревание и культивирование в надежде оказать необходимое воздействие на окружающих людей (аггравация чувств) делает внутреннюю эмоциональную жизнь человека спутанной и трудно доступной для изучения. В процессе подавления искренних чувств человеком к ним применивается досада на себя или неблагоприятные для самовыражения обстоятельства. Разграничение и выделение отдельных переживаний внутри этих эмоциональных комплексов требует серьезной квалификации исследователя.

Философ С.Н. Труфанов в своей книге «Грамматика разума» (с. 373) пишет: «Душа человека непосредственно пронизывает собой всё его тело. В силу этого она вбирает себя всё многообразие его внутренних ощущений. Наше чувство самого себя не заключено в каком-то одном особенном внутреннем ощущении. Такого ощущения просто нет. Чувство самого себя состоит из всей совокупности наших внутренних ощущений». Развитие и динамика конкретной эмоции происходит на основе определённого функционального состояния организма – переутомления, вялости или готовности бодрствовать много часов подряд, готовность отстаивать себя и др.

В рамках задачи идентификации эмоционального состояния человека так называемые объективные методы регистрации эмоций (медицинские физиологические, психофизиологические и электрофизиологические, такие как кардиограмма, плетизмограмма, КТР и ЭЭГ) являются не вполне адекватными, поскольку хорошо измеряют только «незамутнённое» изолированное эмоциональное ощущение. В нашем исследовании мы задействовали комплексную методику идентификации эмоциональных состояний людей с телеэкрана, с одной стороны, с помощью метода вербальных ассоциаций и экспертного приёма цветового кодирования воспринимаемого состояния человека в кадре посредством восьми тестовых карточек М. Люшера, а с другой стороны, с помощью метода балльных оценок и вербальных ассоциаций, основываясь на работах Д. Прайса и Дж. Баррела, а также К. Изарда. Эта исследовательская процедура, в отличие от физиологических методов фиксации эмоциональных состояний, позволяет получить одномоментный срез целой палитры текущих эмоциональных переживаний человека.

Стимульный материал был организован следующим образом: двухминутный телевизионный сюжет, где крупным планом представлен человек, переживающий определенное эмоциональное состояние, разбивался на семь слайдов; каждый слайд оценивался экспертами по 9-ти балльной шкале на наличие в нем восьми базовых эмоций (радость, неприязнь, удивление, гнев, смущение, спокойствие, страх, печаль). Оценка сюжета в целом осуществлялась по 5-ти балльной шкале по тридцати параметрам. Всего испытуемым предъявлялось девять сюжетов. В исследовании принимало участие 32 человека, составляющих четыре группы – мужчины и женщины моложе и старше 35 лет.

В результате было выявлено:

1) восприятие эмоционального переживания, которое предъявляется с экрана компьютера, осуществляется как сложный процесс наблюдения,

понимания, идентификации и рефлексии. Само эмоциональное состояние описывается экспертами как сложная гамма более простых состояний, меняющихся по выраженности в процессе восприятия;

2) выявлены различия в восприятии эмоциональных состояний по группам экспертов – женщины более дифференцированно воспринимают эмоциональное состояние, чем мужчины; наибольшую компетентность в оценке эмоциональных состояний показывают женщины старше 35 лет и экстраверты;

3) дополнительные эмоции, приписываемые экспертами субъектам, переживающим эмоциональные состояния на телевизионном экране, носят ярко выраженный коммуникативный характер, другими словами, эксперт как зритель вступает в межличностную коммуникацию с телевизионным героем и ждет от него эмоций, адресованных лично ему как партнеру по общению.

ОБОЗНОВ А. А., ПЕТРОВИЧ Д. Л.

Связь когнитивных стилей с эффективностью восприятия приборной информации.

Аннотация. Данное исследование посвящено исследованию связи когнитивных стилей (диапазон экзтразентности, полетависимостъ) и эффективностн восприятия приборной информации при разных условиях. Не было выявлено значимых различий во времени реакции для разных условий предъявления приборной информации. Были найдены значимые связи когнитивных стилей и эффективностн восприятия приборной информации.

Исследование восприятия и переработки информации человеком оператором является одной из главных проблем инженерной психологии.

Эффективность восприятия приборной информации зависит от пространственно-энергетических характеристик информации, временных характеристик информации, характеристик информационного поля, от соблюдения принципов размещения индикаторов; от индивидуальных особенностей оператора. По литературным данным эффективность восприятия связана с такими индивидуальными особенностями, как тревожность, уверенность, свойства нервной системы, свойства темперамента, индивидуальный стиль деятельности. Исследования, посвященные тому, как связаны когнитивные стили с эффективностью восприятия приборной информации не были проведены. Вопросы о целесообразности учета когнитивных стилей при разработке инженерно-психологических требований к средствам отображения информации и при отборе операторов остаются без ответа.

Целью данного исследования является выявление связей когнитивных стилей (волезависимости/ полнезависимости, узкого/широкого диапазона эквивалентности) с эффективностью восприятия приборной информации. Мы предполагаем, что эффективность восприятия приборной информации при ее разной длительности и организации будет по-разному связана с когнитивными стилями.

Методика исследования. Для исследования эффективности восприятия приборной информации применялась компьютерная программа, созданная Садовым В. А. Программа позволяет предъявлять изображения по специально созданной схеме. В одно изображение входят четыре круглых шкалы: две сверху и две снизу, располагающиеся в середине экрана. В центре экрана находится указатель, направленный на одну из 4 шкал. Шкала имеет диаметр 50 мм. Она содержит 12 оцифрованных делений. Каждому делению соответствует цифра от единицы до двенадцати; цифры располагаются в порядке возрастания по кругу (аналогично циферблату). В середине шкал располагалась стрелка,

указывающая на одну из двенадцати цифр. Изучаемыми переменными являлись: 1. плотность расположения шкал (расстояние между шкалами), шкалы могли располагаться на расстоянии 30 мм друг от друга (низкая плотность) и 5 мм - (высокая плотность); 2. наличие/отсутствие контура шкалы. Были спланированы четыре экспериментальные серии. Первая серия состояла из изображений четырех шкал, расположенных на расстоянии 30 мм друг от друга и имеющих контур. Вторая серия включала изображения четырех шкал, расположенных на расстоянии 30 мм и не имеющих контура. В третью серию входили изображения четырех шкал, расположенных на расстоянии 5 мм, имеющих контур и в четвертую - изображения четырех шкал, расположенных на расстоянии 5 мм и не имеющих контур. Каждая серия состояла из 48 предъявлений изображений шкал.

Задачей испытуемого являлось считывание показаний со шкалы, на которую направлен указатель. Для этого он должен был нажать указательным пальцем на клавишу на клавиатуре с цифрой, на которую показывает стрелка внутри этой шкалы.

В каждой экспериментальной серии была равная вероятность указания каждой шкалы для считывания: испытуемый определял показания 12 раз с каждой из четырех шкал. Вероятность указания стрелкой одной из двенадцати цифр в шкале для считывания была также одинаковой. Каждая из двенадцати цифр считывалась один раз с каждой из четырех шкал. Всего считывалось 48 цифр: 12 цифр со шкалы. Все цифры и все шкалы для считывания были уравнены по позиции предъявления в экспериментальной серии.

Проба состояла из предъявления изображения четырех шкал с указателем и из предъявления маски (для стирания изображения с сетчатки глаза). Маска представляет собой четыре заштрихованных квадрата, каждый из которых равен площади шкалы. Квадраты в точности

повторяют расположение шкал в каждой серии. Длительность предъявления изображения равна 500 мс, 300 мс, и 150 мс, для разных групп испытуемых. Длительность предъявления маски при всех длительностях изображений равна 3000 мсек, для всех экспериментальных серий. Ответ испытуемого (нажатие на клавишу с цифрой) мог фиксироваться от момента начала предъявления изображения до конца предъявления маски. Автоматически осуществлялось измерение времени реакции от начала предъявления изображения до момента нажатия на клавишу испытуемым. Регистрировалось первое нажатие на клавишу испытуемым. Окончанием экспериментальной серии служило предъявление таблицы данных испытуемого. Таблица данных содержала: 1) номер предъявления, 2) ответ (цифра, нажатая испытуемым), 3) время реакции в мсек., 4) пропуск. Программа позволяет задавать параметры времени предъявления изображений и время предъявления маски; различные режимы предъявления изображений (основной режим, режим предварительной тренировки); количество проб основного режима (до 200 проб) и количество проб предварительной тренировки (до 48).

Для измерения когнитивных стилей испытуемых использовались следующие методики: тест АКТ-70 (полезависимость / полнезависимость), методика «Свободная сортировка слов» В. Колги (узкий/широкий диапазон эквивалентности).

Процедура исследования. Исследование состояло из двух этапов. Первый этап исследования проводился в группе, второй - индивидуально. На первом этапе проводилась методика для изучения эффективности восприятия приборной информации. На втором этапе диагностировались когнитивные стили: полезависимость/полнезависимость, узкий/широкий диапазон эквивалентности.

Методика для изучения эффективности восприятия приборной информации проводилась с каждым испытуемым 2 раза. В первый раз

испытуемый выполнял четыре экспериментальные серии. Перед первой серией испытуемый тренировался. Предварительная тренировка состояла из 20 проб. Инструкция предъявлялась испытуемому в напечатанном виде на листе бумаги. Во второй раз все экспериментальные серии предъявлялись испытуемому в обратном порядке (для компенсации эффекта переноса). Последовательность проб в каждой серии оставалась точно такой же. Длительность проведения этой методики составляла 20 мин. Для эксперимента использовались компьютеры. Исследование проводилось в компьютерном классе. Экспериментатор давал испытуемому ознакомиться с инструкцией и сохранял результаты экспериментальных серий. Изображения предъявлялись испытуемому в центральном поле зрения. В первой и во второй сериях расстояние между испытуемым и монитором было равно 1 м. 49 см., в третьей и четвертой – 1 м. 20 см. Были посчитаны средние времена реакций и стандартные отклонения времен реакций по каждой из четырех серий для 2 раз проведения методики по 3 группам испытуемых (500 мс., 300 мс., 150 мс.). Методика АКТ-70 является разновидностью методики «Включенные фигуры» Уиткина. Методика состоит из 30 заданий, расположенных на 2 листах и листа с инструкцией и образцом выполнения заданий. Испытуемому в верхней части листа предъявляются 5 простых фигур, в нижней – сложные фигуры (по 15 на каждом из двух листов). Испытуемый должен найти и обозначить в сложной фигуре простую фигуру, которая включена в нее в качестве составной части. Показатели полезависимости/полнезависимости: 1) время выполнения первого листа заданий; 2) время выполнения второго листа заданий; 3) общее время выполнения заданий; 4) количество правильных ответов; 5) продуктивность, определяемая как частное от деления количества правильных ответов на время.

Методика «Свободная сортировка слов» В. Колги представляет собой написанные на отдельных карточках 35 слов, характеризующих различные аспекты категории время. Испытуемый должен разложить карточки на группы наиболее логичным и естественным для него способом. Показатели узости/широты диапазона эквивалентности: 1) количество выделенных групп; 2) количество слов в наибольшей по объему группе; 3) количество слов в наименьшей по объему группе; 4) количество групп, состоящих из одного объекта; 5) коэффициент категоризации в виде частного от деления суммы баллов по всем выделенным группам в зависимости от основания категоризации каждой группы - формально-ситуативного (0 баллов) либо категориального (1 балл), - на общее количество групп; 6) разброс в объемах групп - разница в объемах самой большой и самой маленькой групп, деленная на количество выделенных групп.

Испытуемые. В исследовании приняли участие 45 человек (студенты московских вузов). Возраст испытуемых – от 18 до 28 лет. В группу, которой предъявлялись изображения шкал длительностью 500 мс. входило 24 человека, из них- 16 мужчин и 8 женщин. Группа, где предъявлялись изображения длительностью 300 мс., состояла из 14 человек (13 женщин и 1 мужчина). В группу, где длительность предъявления изображений составила 150 мс. входило 7 человек (6 женщин и 1 мужчина).

По методике для выявления эффективности восприятия приборной информации были посчитаны средние, стандартные отклонения времен реакций и суммы ошибок по каждой из четырех серий для 2 раз проведения методики по 3 группам испытуемых (500 мс., 300 мс., 150 мс.). Ошибкой считалось нажатие клавиши с неверной цифрой и пропуск нажатия на клавишу. Для выявления связей между всеми показателями (полезависимостью/полнезависимостью, узким/широким диапазоном эквивалентности; показателями эффективности восприятия приборной

информации) использовался коэффициент ранговой корреляции Спирмена. Для статистической обработки данных использовался статистический пакет Statistica 6.0.

Результаты. Для длительности 500 мс.: среднее время реакции для первой серии равно 1558 мс.; для второй серии - 1518 мс.; для третьей серии - 1503 мс.; для четвертой серии - 1488 мс. Для длительности 300 мс.: среднее время реакции для первой серии равно 1435 мс.; для второй серии - 1435 мс.; для третьей серии - 1436 мс.; для четвертой серии - 1425 мс. Для длительности 150 мс.: среднее время реакции для первой серии равно 1450 мс.; для второй серии - 1411 мс.; для третьей серии - 1457 мс.; для четвертой серии - 1428 мс. Значимых различий между средними для всех длительностей не обнаружено.

Для длительности 500 мс. были найдены значимые отрицательные корреляции между суммой ошибок по 2 серии эксперимента (серия изображений шкал без контура на далеком расстоянии) и количеством верных ответов в тесте на полезависимость/полезезависимость ($r=-0,40$, $p=0,04$, $n=24$); продуктивностью в тесте на полезависимость/полезезависимость и стандартным отклонением времени реакции по первому условию в эксперименте (серия изображений шкал без контура на далеком расстоянии) ($r=0,43$, $p=0,03$, $n=24$). Таким образом, получается, что чем меньше человек делает ошибок в задаче на восприятие приборной информации для серии изображений шкал с контуром на далеком расстоянии, тем больше правильных ответов он дает в тесте на полезависимость/полезезависимость. Чем менее вариативно время реакции (серия изображений шкал с контуром на далеком расстоянии), тем выше его полезависимость. Для длительности 500 мс. эффективность восприятия приборной информации (в виде суммы ошибок и стандартного отклонения времени реакции) оказалась связана только с показателями полезависимости.

Для длительности 300 мс. зафиксировано 9 положительных значимых корреляций: 2 между показателями полезности и эффективностью восприятия приборной информации и 7- между показателем разброса в объемах групп узкого/широкого диапазона эквивалентности и эффективностью восприятия приборной информации. Чем больше время выполнения первой части методики на полезность, тем больше допускается ошибок во 2 серии эксперимента на восприятие приборной информации (серия изображений шкал без контура на далеком расстоянии: $r=0,56$, $p=0,03$, $n=14$) и тем более вариативно время реакции во 2 серии ($r=0,55$, $p=0,04$, $n=14$). Интересным представляется тот факт, что корреляционные связи эффективности восприятия приборной информации обнаружены только с временем выполнения первой части методики на полезность, но не с общим временем выполнения этой методики.

Были обнаружены положительные корреляционные зависимости для 3 первых трех серий эксперимента между временем реакции и показателем разброса в объемах групп узкого/широкого диапазона эквивалентности (для шкал на далеком расстоянии с контуром: $r=0,73$, $p=0,00$, $n=14$; для шкал на далеком расстоянии без контура: $r=0,64$, $p=0,01$, $n=14$; для шкал на близком расстоянии с контуром: $r=0,64$, $p=0,01$, $n=14$). Зафиксированы положительные корреляции между стандартными отклонениями и разбросом в объемах групп узкого/широкого диапазона эквивалентности для этих же условий (для шкал на далеком расстоянии с контуром: $r=0,80$, $p=0,00$, $n=14$; для шкал на далеком расстоянии без контура: $r=0,59$, $p=0,02$, $n=14$; для шкал на близком расстоянии с контуром: $r=0,69$, $p=0,00$, $n=14$). Для 1 условия была обнаружена корреляция между суммой ошибок и разбросом в объемах групп узкого/широкого диапазона эквивалентности ($r=0,74$, $p=0,00$, $n=14$). Высокие значения показателя разброса в объемах групп свидетельствуют о преобладании глобального, хаотичного способа

сортировки объектов. Меньшая эффективность восприятия приборной информации наблюдается в том случае, если применяются глобальные способы категоризации объектов.

Для длительности 150 мс. была найдена корреляция между суммой ошибок при условии изображений шкал с контуром на далеком расстоянии и количеством выделенных групп в тесте «свободная сортировка объектов» ($r=-0,84$, $p=0,01$, $n=7$). Чем больше выделенных групп, тем уже диапазон эквивалентности. Склонность опираться при свободной сортировке объектов на формальные или несущественные признаки отрицательно связана с количеством сделанных ошибок в 1 серии эксперимента.

В результате проведенного исследования были обнаружены связи когнитивных стилей (полезависимости/полenezависимости, узкого/широкого диапазона эквивалентности) с эффективностью восприятия приборной информации. Для длительности 500 мс. эффективность восприятия приборной информации оказалась значимо связана только с полезависимостью, для длительности 300 мс.- с полезависимостью и диапазоном эквивалентности в большей мере, для 150- только с диапазоном эквивалентности.

РИМСКАЯ-КОРСАКОВА Л.К.

Модельные и психоакустические исследования слухового облегчения распознавания коротких стимулов в шуме

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ
№ 06-04-48456 и 06-04-48767

Аннотация. Модельные исследования предсказывают появление слухового облегчения распознавания коротких стимулов в шуме за счет десинхронизации реакции множества кодирующих стимул волокон слухового нерва. Облегчение распознавания может возникнуть при

интенсивностях стимулов, находящихся вблизи порога обнаружения стимулов в шуме. Если стимул заметно выше порога обнаружения, то шум не должен влиять на распознавание стимулов. Данная гипотеза проверяется в психоакустическом эксперименте, сравнивающем пороги распознавания интенсивности коротких стимулов. Как предсказали модельные исследования, для средних интенсивностей стимулов и вблизи порога обнаружения стимулов в шумах был выявлен диапазон уровней шумов, в котором пороги распознавания стимулов в шуме заметно ниже, чем в тишине.

Известно, что в слуховом периферическом кодировании коротких, относительно высокочастотных стимулов в соответствии с принципом залпов (Wever, 1949) участвует множество синхронно-возбужденных волокон слухового нерва (ВСН). Проведенные модельные исследования показывают (Римская-Корсакова, Дубровский, 1990), что суммарная реакция ВСН наиболее точно воспроизводит частотно-временную структуру стимула коротких стимулов, если пороги реакции большинства ВСН соответствуют (близки) уровню возникшего в ответ на стимул синаптического потенциала. Если потенциал намного больше чувствительности волокон, то множество отвечает синхронной реакцией на начало стимула, но не воспроизводит временную структуру. Для того чтобы множества ВСН вновь смогло воспроизводить структуру стимула нужно де-синхронизировать возникшую на начало стимула реакцию. Если бы стимул был длительным, то такая десинхронизация появилась вследствие слуховой адаптации, подстраивающей чувствительность ВСН к возникшему синаптическому потенциалу. Однако стимул короткий. В таком случае де-синхронизировать реакцию, сможет добавленный к стимулу внешний шум. В данной работе приводятся результаты модельных и психоакустических исследований, которые демонстрируют

проявление выдвинутой гипотезы и выявляют условия, при которых распознавание коротких стимулов ухудшается в тишине, но облегчается в шуме.

Известно, что периферическое кодирование амплитудно-временной структуры стимулов зависит от свойств возникающих синаптических потенциалов и свойств процессов восстановления возбудимости волокон после генерации спайков (рефрактерности и адаптации). В электрофизиологии восстановление нервных клеток после генерации спайков оценивают методом парных стимулов (Parham et al., 1996). Метод оценивает функции восстановления, как зависимости относительных амплитуд реакций на второй стимул, $P2/P1$, от значений интервалов T между стимулами, где $P1$ и $P2$ - вероятности появления реакций на каждый из стимулов, равные отношению сумм спайков $N1$ и $N2$, возникших за одинаковое время, к числу предъявлений стимулов. Модифицируем этот метод (Римская-Корсакова, 2005 а) и для коротких стимулов определим условия, в которых при интервалах T меньших периода восстановления возникающая на второй стимул реакция множества волокон с идентичными свойствами не зависит от свойств процессов восстановления волокон. Во множестве волокон, обладающих спонтанной активностью (СА), реакция на второй стимул формируется только двумя способами. Первый "стохастический" способ обусловлен СА. Он предусматривает появление реакции в тех волокнах, которые не среагировали на первый стимул. Второй "детерминированный" способ непосредственно связан с восстановлением возбудимости волокон. Он предусматривает появление реакций в уже ответивших волокнах, у которых изменилась чувствительность после генерации спайка на первый стимул. Вклады каждого способа в возникшую на второй стимул реакцию $P2$ оценивают вероятности $Px2$ и $Pd2$, учитывающие появление реакции на второй стимул при условии отсутствия и возникновения реакции на первый стимул,

соответственно. Так как $P2 = Ps2 + Pd2$, то $Ps2$ и $Pd2$ – стохастическая и детерминированная части возникшей на второй стимул суммарной реакции. Стохастическая составляющая функции восстановления или зависимость $Ps2/P1$ от T связана со свойствами синаптических потенциалов и при пересчете в условную вероятность воспроизводит вызванный коротким стимулом синаптический процесс (Бибиков, 1989; Римская-Корсакова, 1991). Детерминированная составляющая или зависимость $Pd2/P1$ от T воспроизводит процесс восстановления возбудимости в нервных клетках, и, как показано в (Римская-Корсакова, 2005 а), соответствует известной функции риска (Gaumont et al., 1982).

Поведение функций восстановления и двух ее составляющих изучалось нами в модельном эксперименте. В модели ВСН (Римская-Корсакова, Дубровский, 1990; Римская-Корсакова, 2005 а; 1991) входной сигнал подвергался: (1) полосовой фильтрации, такой же, как на базиллярной мембране (БМ) (центральная частота полосового фильтра соответствует характеристической частоте (ХЧ) модели волокна); (2) компрессии и детектированию, воспроизводящие свойства внутренних волосковых клеток; (3) формированию синаптического шума в виде случайного нормального процесса с нулевым средним значением и со среднеквадратичным отклонением пропорциональным величине полученной на предыдущем этапе, а также создание спонтанной активности, путем увеличения среднеквадратичного значения синаптического шума на некоторую величину; (4) низкочастотной фильтрации синаптического шума с постоянной времени 0,2 мс, моделирующей синаптический потенциал модели нейрона спирального ганглия; (5) преобразованию аналоговых синаптических потенциалов в последовательности спайков, генерируемых моделями нейронов, путем сравнения модельного потенциала с изменяющимся после генерации спайков порогом (пороговая функция определяет свойства адаптации и

рефрактерности модели волокна). Параметры моделей были выбраны так, чтобы воспроизвести известную зависимость физиологических свойств волокон от его СА (Римская-Корсакова, 2005 б).

Реакции модели волокна слухового нерва с низкой СА и ХЧ равной 10 кГц, полученные в ответ на пары коротких импульсов, представлены на рис. 1, I и II. В качестве стимулов использовались импульсы с максимумом спектра 10 кГц и длительностью 1 мс, последняя равна периоду абсолютной рефрактерности. Уровни импульсов (15, 22 и 42 дБ) соответствовали трем разным участкам S-образной динамической характеристики волокна, а именно медленному пороговому росту, стабильному нарастанию и насыщению.

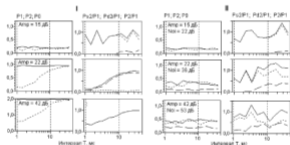


Рис. 1. Зависимости вероятности реакций на шум P0, первый P1 и второй P2 импульсы (левая колонка), и зависимости относительных амплитуд реакций на второй импульс P2/P1, Ps2/P1 и Pd2/P1 от значений интервалов T в парах (правая колонка). Пары импульсов предъявлялись в тишине (I) и на фоне шума (II). Как параметры указаны уровни импульсов и шумов. На оси абсцисс указан интервал в мс; на оси ординат: в левой колонке – вероятности появления реакций за равные промежутки времени на 100-кратное предъявление стимула; в правой – относительные амплитуды реакций, возникшие на второй импульс.

Сначала рассмотрим реакции модели на стимулы без шума (рис.1,1). Если уровень импульсов близок к порогу реакции волокна (15 дБ), то вероятности появления реакций на первый и второй импульсы во множестве нейронов малы, но равны, так как они формируются стохастическим способом. Функция восстановления (или зависимость амплитуды второго импульса $P2/P1$ от T) при любых T близка единице, и соответствует стохастической составляющей функции восстановления (или зависимости $P_{s2}/P1$ от T). При повышении уровня импульсов до 22 дБ вероятность реакции на первый импульс $P1$ повышается до 1, а стохастическая составляющая функции восстановления уменьшается практически до 0. Активизация процессов восстановления приводит к тому, что вероятность $P2$ и на зависимости $P2/P1$ и $P_{s2}/P1$ от T зависят от интервала. Функция восстановления (зависимость $P2/P1$ от T) соответствует своей детерминированной составляющей (зависимости $P_{s2}/P1$ от T). При уровнях импульсов 42 дБ, соответствующих уровню насыщения динамической характеристики волокна, функции восстановления сохраняют прежнюю динамику изменения, однако вероятности реакций $P1$ и $P2$ увеличиваются вдвое (на один импульс волокно отвечает два раза).

Из рисунка1,1 следует, что если стохастическая составляющая функции восстановления не зависит от интервала, а зависит от уровня импульсов, то детерминированная составляющая зависит от интервала и уровня импульсов, причем зависимость тем больше, чем больше уровень импульсов, но меньше интервал между ними. Временной профиль пары импульсов воспроизводится в реакции множества волокон, при уровнях импульсов соответствующих порогу реакции большинства волокон. Именно в этих условиях реализуется принцип залпов. Рост уровня импульсов повышает синхронизацию реакции множества с первым импульсом, и это множество, из-за рефрактерных свойств, перестает

реагировать на второй импульс при малых T . Однако если пару импульсов смешать с шумом, который де- синхронизирует возникающую на первый импульс реакцию множества волокон, и который повысит вклад стохастической составляющей, то возникнут условия для обнаружения реакции на второй импульс и, следовательно для воспроизведения временного профиля стимула в реакции множества нейронов.

Добавление внешнего шума (рис.1,II) понижает вероятности $P1$ и $P2$ возникновения реакций на каждый из импульсов пары, но повышает вклад стохастической составляющей функции восстановления, что, в свою очередь, приводит к восстановлению способности множества волокон к воспроизведению временной структуры стимула. Добавление шума понижает абсолютную чувствительность волокон, но повышает дифференциальную чувствительность ко второму импульсу или к амплитудно-временной структуре стимула.

Сформулируем условия реализации принципа залпов. Процессы восстановления ВСН не влияют на кодирование амплитудно-временной структуры стимулов, если вклад стохастической составляющей функции восстановления больше вклада детерминированной. Если стимул предъявляется в тишине или шуме, такие условия имеют место при уровнях стимулов соответствующих порогу реакций большинства ВСН, кодирующих стимул. Для каждого уровня импульсов есть определенный уровень шума (вблизи порога обнаружения), когда функция восстановления соответствует единице или воспроизводится структура стимула.

Вполне можно предположить, что если короткие стимулы на периферии слуховой системы кодируются в условиях реализации принципа залпов, то слуховые пороги, оцениваемые в психоакустических экспериментах, будут наименьшими.

Рассмотрим известные данные, обнаруживающие облегчение распознавания коротких стимулов в шуме. В работе (Raab et al., 1969) сравнивались дифференциальные пороги различения интенсивности коротких стимулов, предъявляемые в тишине и шуме. В тишине пороги различения оказались хуже при средних интенсивностях, чем при малых и больших. В области средних интенсивностей добавка шума фиксированного уровня приводила к облегчению распознавания. Облегчение распознавания интенсивности в шуме будет наибольшим (Baer et al., 1999), если ширина спектра стимула совпадает с шириной критической полосы слуха, образованной на частоте максимума спектра стимула. При этом добавка слабого шума ухудшала распознавание стимулов, а добавка сильного – улучшала. Причины возникновения аномального поведения порогов при средних интенсивностях в тишине (Радионова, 2003) и причины облегчения распознавания в шуме (Raab et al., 1969; Plack, 1992) обсуждаются, однако исследователи пока не пришли к единому мнению. В качестве возможных причин рассматривались свойства компрессивной нелинейности колебаний БМ, адаптации, действующий на БМ механизма подавления, и др., но не условия реализации принципа залпов. Поэтому мы решили повторить эксперименты (Raab et al., 1969; Plack, 1992), но с некоторыми отличиями. Сначала мы оценили абсолютные пороги обнаружения стимулов и шумов; далее, дифференциальные пороги различения уровней коротких стимулов, относительно порога слышимости в тишине; и наконец, при фиксированных уровнях стимулов получили зависимость дифференциальных порогов различения от уровня добавляемого шума, оцененного тоже относительно порога слышимости.

В экспериментах участвовали два испытуемых с нормальным слухом в возрасте до 25 лет. Эксперименты проводились в звукозаглушенной камере Акустического института. Был использован аппаратно-

программный комплекс, обеспечивающий генерацию стимулов, управление экспериментом и протоколирование данных (Тележнев, 2004). Для определения порогов была использована методика двух альтернативного вынужденного выбора. После двух правильных ответов базовое значение амплитуды более громкого импульса уменьшалось, после одного неправильного – увеличивалось. При таком изменении амплитуд, порог соответствует 71% правильного распознавания импульсов по психометрической кривой (Levitt, 1979). В качестве порога обнаружения принималось среднее значение амплитуды импульсов по восьми точкам поворота. Проводилось до шести измерений порогов, при этом средний квадратичный разброс порогов не превысил 3 дБ. Стимулами были короткие импульсы с огибающей в форме гауссовой функции. Максимумы спектра импульсов и шума были равны 4 кГц. Ширина полосы импульса и шума соответствовала ширине критической полосы слуха, образованной на частоте максимума спектра.

На рис.2 представлены результаты проведенных измерений. Также как и предыдущие (Gauthond et al., 1982; Raab et al., 1969), наши эксперименты показали, что в тишине у всех испытуемых ухудшается распознавание импульсов средних уровней (кресты на осях ординат). Дифференциальные пороги различения уровней импульсов в шуме, полученные для Исп.1 и Исп.2 свидетельствуют о том, что шум облегчает распознавание в области средних уровней, т.е. уровней, где наблюдается ухудшение распознавания импульсов в тишине. При этом до тех пор, пока задача распознавания импульсов в шуме не превращается в задачу обнаружения более громкого импульса на фоне шума, чем больше уровень шума, тем больше облегчается распознавание. Если у одного испытуемого (Исп.1) добавка шума улучшала распознавание импульсов на 8 и 5 дБ при уровнях импульсов 30 и 40 дБ над порогом слышимости, то у другого (Исп.2) – на 11 и 4 дБ при тех же уровнях. При больших и меньших

уровнях импульсов эффект облегчения либо мал, либо отсутствовал. Все те же тенденции сохраняют усредненные характеристики.

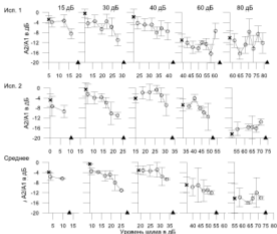


Рис.2. Зависимости дифференциальных порогов различения уровней импульсов от уровня добавляемого шума. Уровень шума относительно порога слышимости указан в дБ. Уровень стандартного импульса A1, относительно порога слышимости, в дБ, указан над каждой кривой. A2 – пороговое приращение уровня импульса. На оси абсцисс треугольником отмечены уровни шумов, при которых задача распознавания импульсов превращается в задачу обнаружения одного, более громкого импульса на фоне шума. На оси ординат крестом отмечены значения различения уровней импульсов в тишине. В двух верхних строках представлены результаты измерений с участием Исп.1 и Исп.2, в нижней строке – усредненные данные.

Экспериментально получено, что для каждой из средних уровней стимулов может быть найден определенный уровень шума, вблизи порога обнаружения импульсов на фоне шума, когда различение уровня импульсов лучше в шуме, чем без него. Этот вывод находится в соответствии с условиями реализации принципа залпов, оцененными в модельном эксперименте.

Библиография:

Бибииков Н.Г. Раздельная оценка влияния кондиционирующего сигнала и импульсного разряда на реакцию нейронов среднего мозгового центра слуховой системы лягушки // Сенсорные системы. 1989. № 3. 4. С. 364-369.

Радионова Е. А. Опыты по физиологии слуха: нейрофизиологические исследования // СПб.: Институт физиологии им. И.П. Павлова РАН, 2003. С. 56.

Римская-Корсакова Л.К., Дубровский Н.А. Слуховой анализ импульсных звуков: имитационное моделирование на ЭВМ // Сенсорные системы. 1990. Т.4, № 1. С. 92-107.

Римская-Корсакова Л.К. Модельные исследования статистических методов оценки динамики процессов, участвующих в аналогово-импульсном преобразовании, осуществляемом волокнами слухового нерва // Акустический журнал. 1991. 37. 3. С. 535-543.

Римская-Корсакова Л.К. Функции восстановления реакций волокон слухового нерва и периферическое кодирование коротких стимулов // Сенсорные системы. 2005 (а). № 19. 4. С. 313-321.

Римская-Корсакова Л.К. Повышение чувствительности сенсорного кодирования стимулов путем добавления шума // Оптический журнал. 2005 (б). 72. 5. С. 35-44.

Телепнев В.Н. Бинауральное демаскирование периодической компоненты в огибающей амплитудно-модулированного сигнала // Акустический журнал. 2004. № 50. 3. С. 419-428.

Baer T., Moore B.C.J., Glasberg B.R. Detection and intensity discrimination of Gaussian-shaped tone pulses as a function of duration // Journal of Acoustic Society of America, 1999. 106. 4. P. 1907-1916.

Gaumond R.P., Molnar C.E. Kim D.O., Stimulus and recovery dependence of cat cochlear nerve fiber spike discharge probability // Journal of Neurophysiology, 1982. V.48. P. 856-873.

Levitt H. Transformed Up-Down Methods in Psychoacoustics // Journal of Acoustic Society of America, 1979. 49.2. P. 467-477.

Parham K., Zhao H.B., Kim D.O. Responses of auditory nerve fibers of the unanesthetized decerebrate cat to click pairs as simulated echoes // Journal of Neurophysiology, 1996. 76. P. 17-29.

Plack C.J., Veimeister N. F., The effect of notched noise on intensity discrimination under forward masking // Journal of Acoustic Society of America, 1992. 92. 4. Pr.1. P.1902-1910.

Raab D.H., Taub H.B., Click-intensity discrimination with and without a background masking noise. // Journal of Acoustic Society of America, 1969. 46. 4B. P.965-968.

Wever E.G. Theory of hearing. N.Y.: Dover Press, 1949.

**РОЖКОВА Г. И., ОГНИВОВ В. В., УФИМЦЕВ М. В.
Дифференциальные пороги различения длины в условиях
возникновения геометрических иллюзий**

Работа выполнена при поддержке Программы
ОБН РАН/2006

Аннотация. Целью работы была оценка отношения Вебера при различении длины отрезков, входящих в конфигурации, порождающие

геометрические иллюзии. Для определения дифференциальных порогов испытуемым (100 чел.) предлагали отмечать субъективное равенство/неравенство тестового и референтного отрезков при предъявлении набора образцов для наблюдения иллюзии Мюллера-Лайбера с варьирующей длиной тестового отрезка. В контрольных экспериментах использовали те же отрезки без дополнительных линий, порождающих иллюзию. Анализ полученных результатов показал, в случае конфигураций, вызывающих иллюзию Мюллера-Лайбера, отношение Вебера в 2-3 раза больше, чем в контрольных экспериментах с такими же отрезками. Таким образом, в условиях наблюдения данной иллюзии имеет место не только субъективное искажение размеров, приводящее к систематическому сдвигу оценок длины, но и возрастание вариабельности оценок. Возможно, это связано с тем, что в условиях возникновения иллюзий возрастает уровень шума в основном механизме, ответственном за оценку длины, или с тем, что к оценке длины подключаются параллельные механизмы, добавляющие свои шумы.

Введение

Согласно сформулированному в позапрошлом веке правилу Вебера, дифференциальный порог, т. е. порог различения двух сигналов или стимулов, всегда составляет одну и ту же долю (процент) от исходного уровня или референтного стимула. Дальнейшие исследования показали, что это правило обычно справедливо не во всем диапазоне измерений, а конкретные значения порогов зависят от различных факторов и условий эксперимента. Тем не менее, в стабильных условиях и на не слишком большом интервале изменений референтного стимула правило Вебера выполняется.

Хорошо известно, что пороги различения длины отрезков существенно зависят от взаимного расположения референтного и

сравниваемого стимулов и могут варьировать от долей процента до нескольких процентов. Наименьшие пороги были зарегистрированы в ситуации «деления отрезка пополам», когда испытуемым предлагается поставить метку точно на середину отрезка, т. е. уравнивать его левую и правую части. При разделении сравниваемых отрезков пустым промежутком пороги различения возрастают.

Столкнувшись с задачей количественной оценки геометрических иллюзий, обусловленных добавочными линиями, мы обнаружили, что эти добавочные линии не только приводят к систематическому искажению воспринимаемой длины, но и затрудняют процесс сравнения длины тестового отрезка с эталоном. В предварительных экспериментах по количественной оценке иллюзий (Рождова и др. 2005) мы использовали процедуру вынужденного выбора: испытуемый должен был указать один из семи одновременно предъявляемых образцов – тот, в котором тестовый и референтный отрезки казались ему равными или более близкими по длине, чем в остальных шести образцах. В ходе тестирования мы обратили внимание на то, что многим испытуемым трудно отдать предпочтение одному образцу – они не видят различия в длине отрезков на нескольких образцах. Естественно думать, что это затруднение должно коррелировать с величиной дифференциальных порогов. В связи с этим, была поставлена задача: сравнить пороги различения длины отрезков в обычных условиях наблюдения и при добавлении линий, порождающих одну из самых сильных геометрических иллюзий - иллюзию Мюллера-Лайера. Для выполнения этой задачи в последующих экспериментах была использована процедура уравнивания длины тестового отрезка с длиной референтного в условиях компьютерного тестирования. Эти эксперименты, в целом, подтвердили наше предположение о возрастании дифференциальных порогов в условиях иллюзорного искажения длины, что проявлялось как в средних данных по всей группе испытуемых, так и в результатах

многократного тестирования отдельных лиц. Однако в ходе компьютерных экспериментов обнаружился существенный недостаток, мешающий получить большой массив данных для статистической обработки результатов. Дело в том, что многие испытуемые долго не могли найти ту длину тестового отрезка, при которой они могли бы уверенно констатировать ее субъективное равенство длине референтного отрезка, и процесс тестирования очень затягивался.

В связи с этим, для получения достаточно большого количества данных было решено упростить процедуру тестирования, отказавшись как от требования уравнивания, так и от работы на компьютере. В новых сериях экспериментов мы вернулись к методике предъявления испытуемым печатных образцов с варьируемым соотношением длин сравниваемых отрезков, но не использовали процедуру вынужденного выбора.

Методика

Было проведено два цикла измерений (тест и ретест), причем в каждом цикле было по две серии – основная и контрольная, которые условно можно обозначить «иллюзия» и «глазомер».

Тестовый материал

В процессе всех измерений использовался один и тот же референтный отрезок (РО) длиной 40 мм, который располагался на тестовых карточках слева (рис. 1).

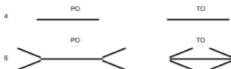


Рис. 1

Вид тестовых карточек в серии экспериментов «глазомер» (а) и «иллюзия» (б)
РД- референтный отрезок

Справа располагался тестовый отрезок (ТО), длина которого на разных карточках варьировала. В серии «глазомер» на карточках были отпечатаны только пары отрезков. В серии «иллюзия» к отрезкам были добавлены линии-дистракторы, вызывающие иллюзию Мюллера-Лайера. Эти линии только касались сравниваемых отрезков, так что концы отрезков были четко определены. В серии «глазомер» вариации длины ТО по отношению к длине РД были в диапазоне от -16 до +16%, а в серии «иллюзия» – от -8 до +64%. Такие пределы были выбраны на основе анализа результатов предыдущих экспериментов. В контрольной серии экспериментов специально исследовались показатели глазомера для отрезков той же длины и при том же взаимном расположении, что и при исследовании иллюзии, поскольку точность глазомера существенно зависит от параметров тестового изображения.

Испытуемые

В опытах участвовало 100 молодых взрослых испытуемых – студентов МПГУ, в основном девушек (юношей было всего 10). Возраст испытуемых составлял 18-23 года.

Процедура тестирования

В учебных аудиториях испытуемым раздавали конверты с тестовыми карточками, которые они должны были просматривать последовательно,

регистрируя свое впечатление о длине ТО по сравнению с РО ($ТО < РО$, $ТО = РО$, $ТО > РО$). Ответ « $ТО = РО$ » мы не запрещали, так как такой запрет вызывает дискомфортное состояние у многих испытуемых. По окончании тестирования карточки собирали, и полученные данные подвергали статистической обработке. На каждом испытуемом эксперимент был проведен дважды (тест и ретест) для оценки воспроизводимости результатов.

Результаты и их обсуждение

В условиях наших экспериментов фактически определялись дифференциальные пороги, так как испытуемые должны были по возможности точно оценивать равенство/неравенство отрезков близкого размера. Полученные во всех сериях экспериментов гистограммы ответов « $ТО = РО$ » приведены на рис. 2. На рисунке хорошо видно, что гистограммы оценок, полученные в сериях «иллюзия», сильно смещены вправо и значительно шире, чем в сериях «глазомер».

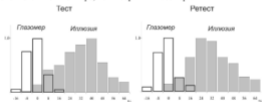


Рис. 2

Распределения ответов « $ТО = РО$ », построенные по результатам двух циклов экспериментов («тест» и «ретест») для серий «глазомер» и «иллюзия».

По оси абсцисс – разность между длиной ТО и РО в % по отношению к длине РО.

У каждого испытуемого величина дифференциального порога отражалась на величине «интервала неопределенности» – разности в длине

наибольшего и наименьшего ТО, при рассматривании которых испытуемый давал ответ $TO=PO$. Для указанных интервалов нами были вычислены выборочное среднее положение середины интервала m и «среднеквадратическая полуширина» s (показатель, тесно связанный со среднеквадратическим отклонением). Оказалось, что для глазомера значение m практически неотличимо от 0 (порядка 0.6 %), т. е. заметного систематического сдвига оценок длины в экспериментах не наблюдалось. Для иллюзии Мюллера-Лайера значение m оказалось равным 25 % в тесте и 24.2 % в ретесте, т. е. в обоих циклах экспериментов оценки оказались смещенными в сторону больших значений примерно на одну четвертую длины ТО. Примечательно, что этот результат достаточно хорошо согласуется с данными, полученными в условиях компьютерного тестирования с использованием трех различных процедур на небольшом числе испытуемых (Mc Kelvie, 1984).

Значения s для иллюзии оказались равными: 15 % в тесте и 14.7 % в ретесте, т. е. в двух циклах экспериментов получились практически одинаковыми. Соответствующие значения для глазомера в двух циклах измерений несколько различались: $s_1 = 4\%$ в тесте и $s_2 = 5.5\%$ в ретесте.

При вычислении отношения Вебера за меру дифференциального порога мы приняли полуширину интервалов неопределенности s . Эта величина выражена у нас в процентах по отношению к физической длине PO, так что если брать за основу расчета физическую длину PO, то значение s численно совпадает с отношением Вебера. При таком подходе, в наших экспериментах отношение Вебера оказывается равным около 15% в случае иллюзии Мюллера-Лайера и 4-5.5% в случае глазомера. Однако, возможно, в случае иллюзии нужно принимать во внимание систематический сдвиг оценок на 25% в сторону больших значений и сопоставлять вариации этих оценок не с физической, а с субъективной длиной, увеличенной по сравнению с физическими размерами. Тогда

окажется, что отношение Вебера в серии «иллюзия» несколько меньше: $15/1.25=12\%$, но и при таком расчете оно существенно превышает значения, полученные для глазомера.

Дополнительно при статистической обработке экспериментальных данных проверялось утверждение о соответствии результатов, полученных для теста и ретеста. Для построенных гистограмм ответов «ТО=РО» с помощью критерия согласия Колмогорова-Смирнова сравнивалась тождественность функций распределения в тесте и ретесте; сравнение проводилось для стандартного уровня значимости $\alpha = 0.05$. Результаты показали, что функции распределения в иллюзии Мюллера-Лайера можно считать тождественными, но для глазомера они различаются. Эта же неодинаковость результатов теста и ретеста для глазомера засвидетельствована и сравнением значений s . По критерию отношения дисперсий данные для глазомера нельзя считать имеющими равные дисперсии: $(s_1 / s_2)^2 = 1.89$, а критическое значение для распределения Следекора (при уровне значимости $\alpha = 0.05$) равно 1.38. Однако отмеченные статистические различия между двумя сериями измерений глазомера не сказываются на общей картине полученных соотношений.

Чем можно объяснить существенно большее отношение Вебера в случае иллюзии, учитывая, что сравниваемые отрезки в обоих тестах одинаковы, а влияние добавочных линий выражается в смещении оценок? По нашему мнению, объяснение состоит в том, что в условиях наблюдения иллюзии Мюллера-Лайера параллельно работают разные механизмы оценки длины (по крайней мере, два – «обычный» и «константный», т.е. трактующий добавочные линии как указание на различное расположение сравниваемых отрезков по глубине). По этой причине зрительная система не выдает стабильного решения: видимый образ соответствует взвешенной сумме частных решений, причем даже у конкретных наблюдателей веса постоянно меняются: как при наблюдении куба Неккера, зрительная

система отдает предпочтение то одному, то другому «решению» - интерпретации. Наше объяснение, с одной стороны, находится в русле идеологии Грегори (Gregory, 1990, 1997), который рассматривает зрительное восприятие как визуализацию различных гипотез об окружении, а с другой стороны, согласуется с современными данными нейрофизиологии и психофизики зрения, свидетельствующими о наличии в зрительной системе многих параллельных механизмов и их сложном взаимодействии. Чисто физиологическое объяснение иллюзии Мюллера-Лайера особенностями работы первых отделов зрительной системы, предлагаемое в (Булатов и др., 1995), по-видимому, является слишком упрощенным. В соответствии с изложенной выше гипотезой, увеличенный разброс данных при сравнении и уравнивании отрезков в случае иллюзии Мюллера-Лайера нам представляется связанным с особенностями функционирования механизма выработки общего решения в сложной ситуации, когда несколько мощных механизмов выдают существенно различающиеся суждения о параметрах видимых объектов.

Библиография:

Булатов А. Н., Бертудис А. В., Мищенко Л. И. Количественные исследования геометрических иллюзий // Сенсорные системы. 1995. Т. 9. Вып. 2-3. С.79-93.

Рожкова Г. И., Токарева В. С., Огивнов В. В., Бастаков В. А. Геометрические зрительные иллюзии и механизмы константности восприятия размера у детей // Сенсорные системы. 2005. Т. 19. № 1. С. 26-36.

Толанский С. Оптические иллюзии. М.: Мир, 1967.

Gregory R. L. Perceptions as hypotheses // Philos. Trans. R. Soc. Lond. B 1990. V. 290. P. 181-197.

Gregory R. L. Knowledge in perception and illusion // Philos. Trans. R. Soc. Lond. 1997. V. 352. P. 1121-1128.

Mc Kelvie S. J. Effect of psychophysical method on measurement of the Mueller-Lyer illusion // Perception and Motor Skills. 1984. V. 58. P. 822.

САДОВ В.А., ШПАГОНОВА Н.Г.

Роль семантики в восприятии длительностей естественных и психофизических сигналов

Аннотация. Представлены результаты экспериментального исследования особенностей восприятия длительностей естественных, реверсивных и психофизических (тональных) сигналов. Сконструирована методика семантического дифференциала для описания звуковых фрагментов по 6 шкалам. Показано, что латентные переменные, определяющие описания естественных и искусственно созданных звуковых фрагментов, идентичны. Выявлена корреляционная связь между описанием звуковых фрагментов и ошибкой воспроизведения их длительности.

В психофизических исследованиях восприятие времени традиционно изучается на материале интервалов определенной длительности, задаваемых простыми физическими сигналами: свечением световой точки или пятна, либо простыми тональными звуками и т.д. Испытуемым предъявляются либо незаполненные интервалы времени, в которых отмечаются начало и конец, либо заполненные интервалы световых или звуковых сигналов.

В повседневной жизни человек имеет дело, как с искусственными сигналами определенной длительности, так и с реальными процессами,

длительность которых ему требуется адекватно воспринимать. Перенесение закономерностей, установленных на искусственных, лабораторных сигналах на жизненные реалии не всегда является валидным.

Исследования восприятия времени естественных процессов представлены, в основном, в прикладных работах с использованием несложных методик диагностического характера: изучение временных параметров локомоций, речи, восприятия мелодий, взаимодействия пользователя с компьютером (Schaefer, 1990; Fortin & Breton, 1995; Tresilian, 1995; и др.). В данной работе основное внимание уделяется предметному, семантическому содержанию воспринимаемой человеком сенсорно-перцептивной информации, и ее влиянию на восприятие временного интервала. Восприятие времени в задачах, приближенных к реальным, рассматривается как целостный феномен, и оценка длительности звукового процесса не раскладывается на последовательность дискретных событий.

В настоящей работе экспериментальному исследованию подвергалась гипотеза о связи качественного содержания звуковых сигналов и восприятия их длительности.

В соответствии с этим были поставлены следующие задачи: 1. Сконструировать метод для определения латентных переменных, детерминирующих описание естественных, реверсивных и простых психофизических (тональных) звуковых фрагментов; 2. Выявить связь семантического описания естественных и искусственно созданных звуковых фрагментов с показателями эффективности воспроизведения длительностей; 3. Выяснить особенности воспроизведения длительностей естественных, реверсивных и простых психофизических звуковых фрагментов.

Для решения поставленных задач была сконструирована методика для выявления семантики описания естественных, реверсивных и простых психофизических (тональных) звуковых фрагментов по типу семантического дифференциала (СД). Процесс создания методики СД состоял из нескольких этапов. На первом этапе были выявлены 300 признаков описания звуков. Выбирались такие признаки описания звуков, которые использовались испытуемыми в свободном описании и направленном интервью. Далее методом частотного анализа были отобраны 166 признаков, из которых организованы 83 оппозиции прилагательных СД.

Для реализации данного исследования был сконструирован экспериментальный комплекс, позволяющий воспроизводить звуки и регистрировать реакции испытуемых. В одной комнате находилось акустическое оборудование и компьютерный комплекс со специальным программным обеспечением. В другой комнате, которая представляла собой звукоизолированную, затемненную камеру, находился испытуемый. Сигналы предъявлялись в свободном акустическом поле со стереозвучанием. Громкость звучаний на уровне слушателя – около 60 дБ. Аппаратура обеспечивала отношение «сигнал-шум» – 70 дБ.

Для исследования восприятия времени был выбран метод воспроизведения, как наиболее точный по сравнению с методом оценки и отмеривания (Фресс, Пиаже, 1971; Лисенкова, Шапонова, 2006).

Стимульный материал. Звуки отбирались из аудиотеки Тьерри Морати «Эволюционные релаксации», DIEM, Франция, предоставленной Елифановым Е.Г. Они были законченные и естественные. Предложены следующие звуковые фрагменты: мяуканье кошки - 995 мс, цокот копыт лошади - 1010 мс, лай собаки - 555 мс, крик кукушки - 612 мс, звук падающей капли - 203 мс, пение птиц в лесу - 2449 мс, удар топора по дереву - 505 мс, крик моржа - 3039 мс, бой часов - 1082 мс, их реверсивные

звучания (реверсирование – проигрывание звукового фрагмента в обратном направлении) и тональные сигналы с частотой основного фона. При реверсе амплитудные и спектральные характеристики не изменяются.

Процедура исследования. Исследование проводилось индивидуально. Испытуемому предъявлялся один из вышеперечисленных звуков, затем он оценивал его, заполняя бланк СД. Далее предлагался следующий звук. Всего испытуемый прослушивал 18 звуковых фрагментов (9 – естественных, 9- реверсивных). В исследовании приняли участие 16 человек.

В следующей серии испытуемому предъявлялись эти же звуковые фрагменты в случайном порядке. Каждый звуковой фрагмент предъявлялся по 20 раз. Общее количество проб в отдельном эксперименте – 180. Испытуемые должны были воспроизвести длительность звучания нажатием на кнопку. Длительность воспроизведения предъявленного звука автоматически фиксировалась, запоминалась и классифицировалась. Проведение отдельного эксперимента по воспроизведению длительности занимало около 20 минут. Реакции предвосхищения испытуемых исключались из обработки данных специальным программным способом. Перед проведением основного эксперимента каждый испытуемый проходил тренировку для понимания инструкции и выполнения задания.

Результаты исследования. При создании семантического описания звуковых фрагментов мы опирались на результаты факторного анализа бланков СД (метод принципиальных компонент, вращение Varimax, 60-70% дисперсии), который показал, что выделены 6 факторов, идентичных как для описания естественных, так и для реверсивных звуков. На основании полученных результатов были созданы 6 шкал, проведена их психометрическая проверка. Каждый фактор рассматривался нами как реальная латентная переменная и для ее измерения конструировалась шкала. Были получены следующие шкалы: 1. Недифференцированная

эмоциональная оценка звука ($AK=0,94$): приятный-неприятный, расслабляющий-пугающий, комфортный-некомфортный, привлекающий-непривлекающий, неусттомительный-устомительный, нераздражающий-раздражающий, желаемый-нежелаемый, благоприятный-неблагоприятный. 2. Естественность звука ($AK=0,92$): естественный-искусственный, природный-механический, одушевленный-неодушевленный, живой-неживой, живой-синтетический. 3. Известность звука ($AK=0,92$): знакомый-незнакомый, встречаемый-невстречаемый, известный-неизвестный, обычный-необычный, стандартный-нестандартный. 4. Высота звука ($AK=0,78$): высокий-тонкий, тонкий-толстый, легкий-тяжелый, острый-тупой. 5. Резкость звука ($AK=0,85$): ритмичный-мелодичный, резкий-плавный, обрывистый-плавный, жесткий-мягкий. 6. Сила звука ($AK=0,76$): громкий-тихий, сильный-слабый, звонкий-глухой, четкий-размытый, яркий-тусклый.

Результаты показали, что с наименьшей ошибкой воспроизводились звуки, воспринимаемые как естественные, сильные, плавные и эмоционально положительно оцениваемые (Садов, Шпагонова; 2006).

Для верификации полученной методики была проведена дополнительная серия исследований на других испытуемых с использованием тональных сигналов (кросс - валидизация).

На этом этапе СД был модифицирован: сокращено число признаков, убраны повторные пункты и пункты с минимальной дифференцирующей способностью. В результате получился СД, состоящий из 49 признаков. В эксперименте приняли участие 16 испытуемых. Процедура исследования была аналогична предыдущей. Предъявлялись 9 звуков: помимо 3 естественных (мяуканье кошки – 995 мс, удар топора по дереву - 505 мс, звук падающей капли – 203 мс) и 3 реверсивных, предъявлялись 3 тональных звука с частотой основного тона естественных сигналов.

Длительности реверсивных и тональных сигналов равнялись также 995 мс, 505 мс, 203 мс.

Факторный анализ СД описания естественных, реверсивных и тональных звуков позволил выделить те же самые 6 факторов и создать 6 шкал, что и в предыдущем исследовании: недифференцированная эмоциональная оценка звука ($AK=0,94$), его естественность ($AK=0,92$), известность ($AK=0,92$), высота ($AK=0,78$), резкость ($AK=0,85$), сила ($AK=0,76$). Этих шкалы содержат те же самые признаки, что и в предыдущем исследовании и обладают такой же надежностью, несмотря на, то, что в исследовании принимали участие другие люди и предъявлялись другие звуки.

Факторные структуры описаний естественных, реверсивных и тональных сигналов оказались идентичны, что свидетельствует о надежности данного метода описания всех трех типов звучаний на основе СД.

Полученные результаты дают нам возможность использовать сконструированную методику СД для семантического описания звуковых фрагментов по 6 шкалам. Латентные переменные, определяющие описания естественных и искусственных звуков, идентичны.

Результаты исследования показали наличие корреляционной связи между описанием звуковых фрагментов (естественных, реверсивных и тональных) и воспроизведением их длительности. С наименьшей ошибкой воспроизводились длительности звуков, оцениваемые как естественные, высокие, сильные. Длительности естественных звуков (505 мс, 995 мс) воспроизводились с меньшей ошибкой, чем реверсивные и тональные звуки аналогичной длительности.

Библиографии:

Лисенкова В.П., Шагонова Н.Г. Индивидуальные и возрастные особенности восприятия времени (на примере детской, подростковой и юношеской выборки) // Психологический журнал. 2006. Т.27. № 3. С.49-57.

Садов В.А., Шагонова Н.Г. Экологический подход в исследовании восприятия времени // Тезисы докладов второй международной конференции по когнитивной науке. 9-13 июня 2006. Санкт-Петербург. Т. 2. С. 417-418.

Фресс П., Пнаже Ж. Восприятие и оценка времени // Экспериментальная психология. М.: «Прогресс», 1978. Вып. VI.

Fortin C. & Breton R. Temporal interval production and processing in working memory // Perception & Psychophysics. 1995. 57. P. 203-215.

Schaefer F. The effect of system response time on temporal predictability of work flow in human-computer interaction // Human Performance. 1990. 3. P. 173-186.

Tresilian J. R. Perceptual and cognitive process in time-to-contact estimation: Analysis of prediction-motion and relative judgment tasks // Perception and Psychophysics. 1995. 57. P. 231-245.

СУРНИНА О.Е., ЛЕБЕДЕВА Е.В.

Шкалирование длительных интервалов времени людьми пожилого и старческого возраста

Аннотация. Работа посвящена изучению особенностей шкалирования длительных интервалов времени, сопоставимых с продолжительностью жизни человека, у лиц пожилого (от 55 до 74 лет) и старческого возраста (75-95 лет). В качестве контроля была взята группа студентов в возрасте 17-23 лет. С помощью модифицированного метода кросс-модального подбора у испытуемых формировались

субъективные временные шкалы, основной характеристикой которых являлась экспонента Стивенса. Показано, что стратегии шкалирования времени у испытуемых пожилого и старческого возраста отличаются большим разнообразием по сравнению с молодыми людьми.

При оценивании промежутков времени длительностью больше нескольких секунд становится неправомерным употребление самого термина «восприятие», поскольку, как указывал П. Фрессе, речь начинает идти скорее о суждении (Фрессе, Пинаже, 1978). Укрупнение временного масштаба влечет за собой актуализацию высших уровней психического отражения, и исследование «восприятия» времени тесно смыкается с диагностикой когнитивного развития человека, его интеллектуальных и мнестических возможностей.

К сожалению, в доступной нам литературе отсутствуют работы, касающиеся отражения длительных интервалов. Это объясняется в первую очередь отсутствием адекватных методик и невозможностью задать требуемый интервал, используя обычные способы стимуляции. Таким образом, единственным способом изучения восприятия длительных интервалов остается содержательно-ситуативный анализ, который проводится на основе применения биографических методик. Итогом такой методической разнородности стала терминологическая неопределенность, возникающая из-за невозможности сопоставить разные ряды данных.

В данной работе предлагается качественно иной подход к исследованию отражения длительных интервалов, продолжительность которых сопоставима с масштабом человеческой жизни. Предлагаемая нами методика представляет собой попытку совмещения достоинств традиционных биографических техник, разбивающих временной промежуток на дискретный событийный ряд, с принципами психофизического шкалирования.

В исследовании приняли участие две группы испытуемых: 1) экспериментальная группа — 100 человек, из которых 80 – составляли подгруппу пожилых (от 55 до 74 лет) и 20 человек – подгруппу старых людей (от 75 до 95 лет); 2) контрольная группа – молодые испытуемые (студенты), 163 человека в возрасте от 17 до 23 лет.

Испытуемому предъявлялась прочерченная на бумаге горизонтальная линия длиной 200 мм, и указывалось, что эта линия представляет собой его жизненный путь от рождения до момента тестирования. Далее предлагалось выделить пять наиболее важных для испытуемого жизненных событий, которые он хотел бы отметить на «линии жизни». Испытуемый перечислял их в хронологическом порядке на обратной стороне бланка. После этого ему предлагалось начертить линию, соответствующую длительности временного интервала от рождения до первого указанного события, затем от рождения до второго и т.д.

Обработка результатов включала в себя построение психофизической функции оценки времени. С одной стороны мы имеем физическую шкалу времени, отражающую календарный возраст испытуемого и хронологическую длительность того или иного промежутка времени (события), с другой — субъективную шкалу, «шкалу воспоминаний», выраженную в виде линий разной длины, соответствующих обозначенным временным интервалам (событиям). Этот метод известен в психофизике как метод кросс-модального подбора. Поскольку известно, что оптимальной формой связи между физическим и субъективным временем является степенная функция (Суринина, Луландин, 1989), то в нашей работе у каждого испытуемого методом наименьших квадратов вычислялся показатель степени (экспонента Стивенса) психофизической функции, который впоследствии усреднялся по

возрастной группе. Основные показатели описательной статистики для разных возрастных групп приведены в таблице 1.

Таблица 1. Значения экспоненты Стивенса психофизической функции шкалирования длительных временных интервалов

Возраст, годы	$n \pm t * \sigma_n$	σ	min	max	As	Ex
17-23	11,72 \pm 0,19	1,4	0,4	10,66	3,56	15,9
55-74	0,90 \pm 0,07	0,38	0,2	2,33	0,67	1,63
75-95	0,83 \pm 0,09	0,27	0,4	1,3	0	-1,2

$n \pm t * \sigma_n$ – среднее значение показателя степени с доверительным интервалом; σ – стандартное отклонение; min и max – минимальное и максимальное значение экспоненты, As и Ex – показатели асимметрии и эксцесса (достоверны при $p \leq 0,05$).

Как видно из представленных данных, средняя величина экспоненты Стивенса достоверно уменьшается с возрастом. Одна из причин этого, по-видимому, кроется в неравномерном разбиении жизненного пути на интервалы, что имеет место в основном у молодых людей. Значимые события у них сгруппированы, главным образом, в пределах последних 5-7 лет, причем у половины испытуемых два-три события оказываются принадлежащими одному году. Таким образом, часть временного диапазона (последние годы) оказывается более насыщенной событиями по сравнению с другой, большей частью. Это приводит к «растяжению» диапазона графических оценок, очевидно за счет суммирования межстимульных интервалов (Лупандин, 1987, 1997). Этот феномен является проявлением хорошо известного в психофизике «эффекта диапазона».

Здесь можно говорить и о другом проявлении этого эффекта. При увеличении интервала между событиями испытуемые склонны

недооценивать его, что приводит к закономерному уменьшению показателя степени. По-видимому, это можно объяснить определенной жесткостью субъективных шкал. Показатель степени здесь играет роль коэффициента сопряженности: при расширении физической шкалы он уменьшается таким образом, чтобы «подогнать» расширяющуюся физическую шкалу к стабильной субъективной (Лупадина, 1987).

Стандартное отклонение, как и размах вариаций, свидетельствуют о том, что у молодых людей разброс индивидуальных значений экспоненты Стивенса больше, чем у лиц пожилого и старческого возраста, что может отражать большее разнообразие стратегий, используемых молодыми людьми при оценке длительных промежутков времени. Однако решить этот вопрос можно только при анализе распределений индивидуальных значений показателей степени.

У молодых испытуемых распределение характеризуется выраженной правосторонней асимметрией ($A_{\Sigma} \text{жс.} > A_{\Sigma} \text{кр.}$ при $p \leq 0,05$), возникающей в результате существенного превышения среднего значения относительно медианы. Такая ситуация обусловлена тем, что примерно треть испытуемых допускают нарушение пропорциональности при шкалировании времени: недавним событиям соответствуют отрезки линий непропорционально более длинные, чем событиям первых лет жизни. Это и приводит к увеличению показателя степени. В основном же молодые люди довольно точно подбирают длину линии к величине интервала, подавляющее большинство индивидуальных значений экспонент лежит в пределах $1,0 \pm 0,25\sigma$.

В группе пожилых людей распределение также является асимметричным, но в то же время более уплощенным, «размытым». Экспесс здесь значительно ниже, чем у молодых. Можно предположить, что такой характер распределения и вариации индивидуальных значений обусловлены разнообразием стратегий выполнения задач. У молодых

испытуемых, высокий эксцесс свидетельствует о четко выраженной тенденции тяготения индивидуальных данных к центральной тенденции, а вариация экспонент является следствием одной и той же стратегии – «переоценки» длительности недавних событий.

В самой старшей возрастной группе тенденция, характерная для пожилых, выражена в еще большей степени: показатель эксцесса снижается, а асимметрия исчезает. Анализ индивидуальных значений показателей степени показал, что около 60% испытуемых имеют показатель степени меньше единицы, т.е. обладают суженными по сравнению с физической субъективными шкалами времени. Для сравнения, в группе молодых только у одного испытуемого показатель степени был равен 0,4. Это позволяет высказать предположение о связи субъективных шкал с временной ориентацией субъекта. Ориентация на прошлое приводит к «сжатию» субъективных временных шкал, на будущее, — к их «растяжению». Ориентация на настоящее обеспечивает формирование наиболее адекватных шкал времени.

Таким образом, проведенное исследование продемонстрировало возможность применения метода кросс-модального подбора для шкалирования длительных временных интервалов, сопоставимых с продолжительностью жизни. С помощью этого метода было установлено, что стратегии шкалирования таких интервалов различны в разных возрастных группах: они отличаются меньшим разнообразием у молодых испытуемых, что позволяет им формировать более адекватные субъективные шкалы, и весьма разнообразны в старших возрастных группах. Было обнаружено, что с возрастом происходит сужение субъективных шкал времени, что обусловлено «уплотнением» событий в прошлом и их «разряжением» в настоящем времени. Психологические механизмы такого феномена далеки от своего разрешения и требуют дальнейших исследований.

Библиография:

Фресс П., Пиаже Ж. Экспериментальная психология. М.: Прогресс, 1978. Вып. 6. С. 88-135.

Сурнина О.Е., Лупандин В.И. Инвариантность субъективных шкал времени // Журнал высшей нервной деятельности. 1989. Т.39. Вып. 5. С. 845-850.

Лупандин В.И. Эффект диапазона в психофизическом шкалировании // Вопросы сенсорного восприятия. Свердловск: Уральский государственный университет, 1987. С. 24-38.

Лупандин В.И., Сурнина О.Е. Психофизика. Екатеринбург: Уральский государственный университет, 1997.

УТОЧКИН И.С., ГУСЕВ А.Н.

Формирование функционального органа обнаружения порогового сигнала в условиях пространственной неопределенности

Аннотация. В работе рассматриваются психологические механизмы, опосредствующие процесс обнаружения звукового сигнала на фоне шума в условиях пространственной неопределенности. Обсуждается роль процессов селективного внимания как средств произвольной и непроизвольной ориентировки субъекта в условиях высокой неопределенности, характерной для задачи обнаружения порогового сигнала. Приводятся экспериментальные данные об изменении характера межполушарной асимметрии при обнаружении сигнала в различных условиях пространственной неопределенности.

Сенсорная пороговая задача характеризуется значительным количеством *степеней свободы*, которые могут существенно определять уровень ее неопределенности и, следовательно, нагрузки на наблюдателя. Для задачи обнаружения сигнала, которая является весьма сложной и ресурсоемкой (Гусев, 2004), формирование механизма координации избыточных степеней свободы и, тем самым, снижения неопределенности, может быть весьма критично. На наш взгляд, основным способом формирования такого механизма является выработка *вероятностного прогноза* (Фейгенберг, Иванников, 1978) относительно будущих событий с целью дальнейшей селективной настройки перцептивной системы на эти события. Поскольку речь идет именно о селективной настройке, то важнейшую роль в координации избыточных степеней свободы должны играть процессы *селективного внимания*.

Роль пространственной ориентировки в задаче обнаружения. Среди всего многообразия функций внимания в формировании ожиданий субъекта в ситуации сенсорной неопределенности выделим функции *настораживания* и *ориентировки* (Posner, 1988). Функция *настораживания* состоит в достижении и поддержании высокой готовности к входным данным и позволяет активно адаптироваться к условиям временной неопределенности. *Ориентировка* состоит в выборе той части информации, которая соответствует определенным стимульным характеристикам, соответствующим появлению сигнального события среди всех прочих событий. Для большинства исследователей термин «ориентировка», по сути, эквивалентен понятию «пространственная ориентировка», или «пространственное внимание». В парадигме обнаружения сигнала ориентировка, в отличие от функции настораживания, нацелена, в первую очередь, на преодоление пространственной неопределенности.

Так называемая *методика подсказки* легла в основу ведущей экспериментальной парадигмы исследования ориентировки (Posner et al., 1978). Перед появлением целевого стимула предъявляется предупреждающий стимул (подсказка), информирующий испытуемого о том, где в пространстве появиться цель; предполагается, что подсказка способствует сдвигу внимания в одну из двух пространственных позиций. Если показатели эффективности обнаружения сигнала при верных и неверных подсказках значительно отличаются друг от друга (в положительную или отрицательную сторону), то говорят об эффекте ориентировки. Варьируя формы предъявления предупреждающей подсказки, изучают роль непроизвольного и произвольного внимания, а, изменяя процентное отношение количества верных и неверных подсказок в рамках одной серии, задают уровень пространственной неопределенности или *информативности подсказки*.

Таким образом, пространственная ориентировка может рассматриваться как фундаментальный компонент сенсорных и перцептивных процессов, выполняющий функцию селективной настройки внимания на потенциальный пространственный источник полезной информации. Пространственная ориентировка может представлять *надмодальную* систему управления поведением (Schmitt et al., 2000, 2001; Spence et al., 2000; Ward et al., 2000) и учитывает два типа факторов – стимульные (экзогенная ориентировка) и прошлый опыт (эндогенная ориентировка). Все эти характеристики делают ориентировку потенциально эффективным средством решения сенсорных задач в условиях пространственной неопределенности.

Межполушарная асимметрия в задачах с пространственной неопределенностью. В структуре психической деятельности человека задача характеризуется своей специфической целью. В ходе достижения этой цели формируется определенный *функциональный орган* или

воспринимающая функциональная система (Ухтомский, 1978; Леонтьев, 1983), соответствующие конкретным условиям выполнения задачи и индивидуальным особенностям действующего субъекта. Нам представляется целесообразным рассматривать такое системное образование как функциональный орган в качестве основной единицы для функционального анализа решения сенсорной задачи, поскольку она адекватна решаемой субъектом задаче в целом. Т.к. функциональный орган понимается как уровневое иерархическое образование, то при анализе пространственной ориентировки для нас интересны еще один класс феноменов – феномены, связанные с асимметричным распределением мозговых функций между правым и левым полушариями головного мозга. Мы полагаем, что показатели межполушарной асимметрии могут быть весьма чувствительны к эффекту такого ориентирующего события как подсказка, поскольку имеются надежные нейропсихологические данные о пространственной специфичности полушарных функций (Хомская, 1987).

Цель и гипотеза исследования. Эмпирическое исследование имело цель оценить влияние пространственной неопределенности на проявление пространственной ориентировки при решении задачи обнаружения сигнала и установить потенциальное место этой ориентировки в функциональной структуре процесса решения пороговой задачи. Гипотеза предполагала, что при решении задачи обнаружения сигнала, усложненной условием пространственной неопределенности, задействована система пространственной ориентировки, не зависящая от действий, направленных на основное содержание задачи, и имеющая эндогенную природу. Эта ориентировка также проявляется в паттерне межполушарной асимметрии.

Методика

90 испытуемых обнаруживали пороговый тональный сигнал, предъявляемый с вероятностью 50% на фоне «белого» шума, стимулы

предъявлялись моноурадно, в случайном порядке и равновероятно в правое или левое уши. Каждому стимулу (сигналу или шуму) предшествовал периферический стимул-подсказка, дававший информацию о локализации будущего стимула – щелчок длительностью 50 мс в одном из наушников. Подсказка могла быть верной (щелчок и основной стимул предъявлялись в один и тот же наушник) или неверной (щелчок предъявлялся в одно ухо, а основной стимул – в другое). В инструкции внимание испытуемого специально обращалось на ценность подсказки в условиях дефицита времени.

Перед началом опыта (4 серии по 200 проб) испытуемые заполняли «Активационно-мотивационный опросник», оценивающий их уровень энергетической активации – ЭА (Гусев, 2004). Каждый испытуемый проходил тест на ведущее ухо.

Испытуемые делились на три группы, различия между которыми состояли в количественном отношении проб с верными и неверными подсказками внутри одной серии, т.е. в *информативности* подсказок (80%, 50%, или 20% верных подсказок). Перед началом серии испытуемому сообщалась истинная информация о количестве верных подсказок.

В качестве зависимых переменных использовались показатели эффективности обнаружения сигнала (ЭОС): индекс сенсорной чувствительности A' , индекс строгости критерия принятия решения YesRate, BP и дисперсию BP (СКО BP) для ответов типа «попадание».

Для оценки проявлений межполушарной асимметрии, вычислялись показатели латерального эффекта (ЛЭ) – показатели абсолютной выраженности асимметрии для каждой из зависимых переменных. Для оценки эффекта подсказки была введена еще одна группа зависимых переменных – т.н. «выигрыш» (далее - BF). Положительные значения BF для показателей ЭОС указывают на положительный эффект подсказки

(увеличение продуктивности и скорости т.д.), а отрицательные – на негативный эффект (естественно, для ВР и СКО ВР - наоборот).

Результаты

Ориентировка. Главный эффект фактора «Тип подсказки» оказался не значимым для показателей ЭОС. Предъявление подсказки по-разному влияет на показатели ЭОС при разных уровнях ее информативности. Так, при обратной информативности (20%) верная подсказка оказывает положительный эффект на СКО ВР и А'. При высокой прямой информативности (80%) верная подсказка ускоряет ответ, не влияя при этом ни на стабильность деятельности, ни на чувствительность. Наконец, при отсутствии информативности (50%) подсказка приводит к либерализации критерия.

Ориентировка и асимметрия. Главный эффект фактора «Тип подсказки» оказался не значим для всех показателей ЛЭ, кроме ЛЭ YesRate ($F=4.64$, $p<0.05$): значение этого показателя оказалось ниже для группы, где было предъявлено 80% верных подсказок.

Было также обнаружено пять значимых эффектов взаимодействия факторов «Тип подсказки» и «Информативность подсказки»: на ЛЭ ВР ($F=6.18$, $p<0.01$), ЛЭ СКО ВР ($F=8.94$, $p<0.001$), ЛЭ А' ($F=9.1$, $p<0.001$). Во всех случаях обнаруживается сходная закономерность: при 80% верных подсказок значения ЛЭ для проб с верными подсказками ниже, чем для проб с неверными, при 20% верных подсказок – наоборот, т.е. выше. При 50% верных подсказок такая разница отсутствует.

Дополнительно для проверки гипотезы о связи показателя ЛЭ с фокусировкой/распределением внимания (см. ниже в обсуждении результатов) дисперсионный анализ с аналогичным дизайном был проведен отдельно для разных уровней фактора ЭА. Обнаружено, что для испытуемых с низкой ЭА с высокой достоверностью сохраняются те же

эффекты, что и для выборки, в целом, а для испытуемых с высокой ЭА эти эффекты оказываются не значимыми (за исключением ЛЭ А'). При этом при любых значениях ЭА и любых уровнях факторов «Тип подсказки» и «Информативность подсказки» значения ЛЭ всех зависимых переменных первого порядка остаются значимо отличными от нуля на уровне $p < 0.001$.

Обсуждение результатов

Ориентировка и обнаружение сигнала. Эффекты ориентировки обнаружили высокую специфичность по отношению к информативности подсказки: при прямой информативности (80% верных подсказок) ориентировка проявилась, прежде всего, в скоростных параметрах, как в большинстве исследований, при обратной (20%) – в точности обнаружения сигнала. При отсутствии информативности (50%) происходило свособразное смешение стратегий ориентировки и принятия решения об ответе: верная подсказка связывается с более либеральным критерием, но не влияет на эффективность обнаружения сигнала. Это даст нам основание утверждать, что ориентировка внимания имеет место, но не является чисто произвольной, несмотря на то, что форма предъявления подсказки – периферическая. Вместе с тем, данные самоотчетов указывают на то, что ориентировка, проявленная нашими испытуемыми, не может считаться произвольной, в привычном смысле этого слова, т.е. направляемой и поддерживаемой сознательно и целесообразно. Скорее, имеет смысл говорить о произвольном внимании, управляемом, с одной стороны, стимулом-подсказкой (экзогенно), с другой стороны, - системой памяти (эндогенно). Возможность существования неосознаваемой эндогенной ориентировки подтверждается результатами немногочисленных исследований последних лет (например, Decaix et al., 2002; Lambert et al., 1999). Иными словами, ориентировка внимания, в нашем случае, представляет собой фиксированную установку (Узнадзе, 1997).

Принципы, по которым формируется ориентировка, соответствуют модели вероятностного прогнозирования (Фейгенберг, Иваников, 1978). В когнитивной психологии феномены подобного рода (неосознаваемое формирование системы целесообразных селективных реакций) рассматриваются как результат работы независимых модулей (схем разного уровня), временно скоординированных для решения общей задачи (Kahneman, Treisman, 1984; Norman, Shallice, 1986). Наконец, с точки зрения теории Н.А. Бернштейна (1966), формирование операции локализации, куда входят и механизмы ориентировки, на фоновом уровне в условиях высокой сложности и приоритетности задачи обнаружения сигнала выполняет функцию поддержки операций тонкого сенсорного анализа, выполняемых на ведущем уровне.

Блок «Ориентировка-Асимметрия». Самым ярким феноменом в данном блоке результатов стало влияние типа подсказки на значения ЛЭ целого комплекса зависимых переменных, сопряженное с информативностью подсказки. Иными словами, латеральный эффект как мера полушарной специализации или межполушарного взаимодействия проявил высокую чувствительность к степени пространственной неопределенности, в которой работает испытуемый в той или иной пробе и в эксперименте, в целом. Обнаруженная нами закономерность может быть сформулирована следующим образом: более частое событие (пробы с верной подсказкой при информативности 80% и пробы с неверной подсказкой при информативности 20%) соответствует относительно согласованной работе двух полушарий, редкое событие, наоборот, приводит к значительному возрастанию доминантности одного из полушарий.

На наш взгляд, установленная закономерность может отражать работу системы гибкого распределения неспецифических ресурсов с учетом специфической, хотя и произвольной, организации испытуемым

своей деятельности. Согласно проведенному анализу, основным смыслом этой организации является нахождение компромисса между требованиями задачи, ее условиями и доступными для решения ресурсами, как энергетическими, так и функциональными. Как было отмечено выше, специфическая эндогенная ориентировка сильнее выражена у испытуемых с низкой ЭА, что, предположительно, связано с энергетическими ограничениями на равномерное распределение усилия между двумя каналами. Эффект избирательного возрастания ЛЭ в зависимости от типа и информативности подсказки, описанный нами выше, также проявился, в первую очередь, именно у испытуемых с низкой ЭА. Показатели ЛЭ у испытуемых с высокой ЭА оказались менее чувствительны к эффектам ориентировки. Таким образом, по-видимому, использование наблюдателем той или иной стратегии преодоления пространственной неопределенности – распределения или фокусировки внимания – находит свое отражение в работе нейропсихологических механизмов.

Давая общую теоретическую интерпретацию полученных результатов, подчеркнем, что проведенный нами анализ динамики разнообразных показателей обнаружения сигнала показал, что решаемая испытуемыми сенсорная задача порождает специфический *функциональный орган* или *воспринимающую функциональную систему*, соответствующие конкретным условиям ее выполнения и индивидуальным особенностям действующего субъекта как некую временную структуру, объединяющую разнообразные ресурсы человека и проявляющуюся как на поведенческом уровне использования определенных произвольных стратегий ориентировки, так и на уровне автоматической перестройки мозговых механизмов переработки сенсорной информации. Можно предположить, что формирование подобного функционального органа как средства решения сенсорной задачи обеспечивает характерные процессы временной и пространственной ориентировки, позволяющие «снимать»

избыточные степени свободы, характерные для задач с высокой неопределенностью. Изучение роли произвольного и непроизвольного компонентов ориентировки требует дальнейших исследований.

Библиография:

Бернштейн Н.А. Очерки по физиологии движений и физиологии активности. М., 1966.

Гусев А.Н. Психофизика сенсорных задач. Экспериментальное исследование поведения человека в ситуации неопределенности. М., 2004.

Ухтомский А.А. Избранные труды. М., 1978.

Фейгенберг И.М., Иванников В.А. Вероятностное прогнозирование и преднастройка к движению. М.: МГУ, 1978.

Хомская Е.Д. Нейропсихология. М.: МГУ, 1987.

Decaix C., Sieroff E., Bartolomeo P. How voluntary is 'voluntary' orienting of attention? // *Cortex*. 2002. Vol.38. P. 841-845.

Kahneman D., Treisman A.M. Changing views of attention and automaticity // *Varieties of attention* / Eds. Parasuraman R., Davies D.R. Orlando: Academic Press, 1984. P. 29-61.

Lambert A., Naikar N., McLachlan K., Aitken V. A new component of visual orienting: implicit effects of peripheral information and subthreshold cues on covert attention // *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*. 1999. Vol. 25. No2. P. 321-340.

Norman D.A., Shallice T. Attention for action: willed and automatic control of behavior // Davidson R.J., Schwartz G.E., Shapiro D.S. (Eds.) *Consciousness and self-regulation*. Vol. 4. N.Y.: Plenum Press. 1986. 1986. P. 1-18.

Posner M.I. Orienting of attention // *Quarterly Journal of Experimental Psychology*. 1980. Vol. 32. P. 3-25.

Posner M.I. Structures and functions of selective attention // Master Lectures in Clinical Neuropsychology and Brain Function: Research, Measurement, and Practice / Eds. Boll T., Bryant B. American Psychological Association, 1988. P. 171-202.

Schmitt M.J.M., Postma A., De Haan E. Cross-modal exogenous attention and distance effects in vision and hearing // European Journal of Cognitive Psychology. 2001. Vol.13. No 3. P.343-368.

Schmitt M.J.M., Postma A., De Haan E. Interactions between exogenous auditory and visual spatial attention // The Quarterly Journal of Experimental Psychology. 2000. Vol. 53A. No1. P.105-130.

Spence C., Lloyd D., McGlone F., Nicholls M.E.R., Driver J. Inhibition of return is supramodal: a demonstration between all possible pairings of vision, touch, and audition // Experimental Brain Research. 2000. Vol. 134. P. 42-48.

Ward L.M., McDonald J.J., Lin D. On asymmetries in cross-modal spatial attention orienting // Perception & Psychophysics. 2000. Vol. 62. No 6. P. 1258-1264.

ХРИСАНФОВА Л.А.

Взаимосвязь восприятия эмоциональных лицевых схем, предъявляемых в микроинтервале времени на фоне «шума», с некоторыми темпераментальными характеристиками

Аннотация. Исследовалась взаимосвязь опознавания эмоциональных схем лица, предъявляемых в микроинтервале времени на фоне «зашумленного» экрана, с некоторыми проявлениями темпераментальной активности. Согласно полученным данным, характер связи эффективности опознавания эмоциональных схем с формально-динамическими характеристиками воспринимающей личности зависит от уровня нейровизма испытуемого. Используемые в эксперименте

эмоциональные лицевые схемы значимо отличаются друг от друга по эффективности опознания. Различные уровни эмоциональности (по Русалову) показывают значимые различия в эффективности опознания эмоциональных схем и в степени проявления нейротизма, причем изменения уровня нейротизма точно повторяют изменения уровня эмоциональности.

Актуальность. Проблема восприятия лица была и остается одной из интереснейших и всегда актуальных задач многих отраслей психологической науки. Это закономерно, поскольку лицо человека является одним из основных источников получения информации о воспринимаемой личности в процессе общения (Барабанщиков, 2002, 1990, 1981; Бодалев, 1983; Гибсон, 1988.; Журавлев, 1983; Фейгенберг, 1989; Belsky, 1991; Артемцева, 2003; Лабунская, 1995), адекватное восприятие лицевых экспрессивных состояний важно при решении проблем профессиональной пригодности, общественной и личной безопасности, актерского мастерства и др. (Рождественский, 1979; Русалов, 1990; Подорога, 1995; Барабанщиков, 2004).

Актуальность данного исследования определяется и фундаментальными проблемами, которые встают перед психологией. Имеются в виду принципы организации перцептивного процесса и механизмы восприятия экологически валидных событий (Бубер, 1995; Барабанщиков, 2002, 2004).

Одной из **целей** исследования стояло изучение взаимосвязи опознания эмоциональных схем лица, предъявляемых в микроинтервале времени на фоне «зашумленного» экрана, и проявлениями темпераментной активности.

Методика исследования. В эксперименте использовалась методика опознавания паттернов, предъявленных на фоне «шума» длительностью до

100 мс. На экране персонального компьютера на фоне «шума» в случайном порядке предъявлялись различные паттерны, размером 6 - 9°. «Шум» представлял собой точечное «закрашивание» экрана. Степень «зашумленности» была подобрана экспериментально в процессе пилотажных исследований и менялась по определенному принципу (95 %, 90 %, 85 %, 80 %, 75 %, 70 %, 65 %, 60 %, 55 %, 50 %, 45 %, 0 % от общей площади экрана). В процессе эксперимента использовалась гарантированная экспозиция стимулов, равная 100 мс. С этой целью была написана программа на языке СИ для операционной системы LINUX. Программа включает генератор случайных чисел, что позволило предъявлять паттерны в случайном порядке при любом уровне зашумления. Сложность восприятия контролировалась степенью зашумленности экрана, что приводило к эффекту, аналогичному уменьшению времени экспозиции. Появлению тестовых стимулов предшествовало предэкспозиционное поле с центральной точкой фиксации. Сразу же после конца экспозиции предъявлялось маскирующее поле. Следующий стимул для опознавания предъявлялся по команде испытуемого (нажатие определенной клавиши) спустя 2-3 мин после предъявления предыдущего. В это время испытуемый заносил свои ответы в заранее подготовленный бланк. В данном случае была использована вербальная оценка тестовых стимулов. Время ответа не ограничивалось.

Результаты исследования

Опознавание эмоциональных схем лица осуществлялось по двум критериям: по началу опознавания эмоций и по количеству правильных ответов. Сочетание этих двух критериев определяло эффективность опознавания лицевых экспрессий. В качестве проявлений темпераментальной активности были взяты уровень экстравертированности и уровень нейротизма по классическому опроснику

Г. Айзенка (Айзенк, 1999) и показатели темпераментальной активности по опроснику Русалова (Русалов, 1990). Результаты подвергались корреляционному и дисперсионному анализу, осуществленным при помощи стандартного статистического пакета SPSS.

Результаты корреляционного анализа представлены в таблицах 1, 2, 3, 4, 5, 6. Наиболее интересные результаты обнаружались при разделении всех испытуемых на группы по признаку выраженности нейротизма (высокий, низкий, средний). К группе с высоким нейротизмом относились испытуемые, которые имели данный показатель, равный 17 и выше баллов по опроснику Г. Айзенка. К группе с низким нейротизмом относились испытуемые, которые набирали количество баллов 7 и ниже. У испытуемых со средним нейротизмом количество набранных баллов укладывалось в пределы от 8 до 16.

Обсуждение результатов

Согласно полученным данным, характер связи эффективности опознания эмоциональных схем с формально-динамическими характеристиками воспринимающей личности зависит от уровня нейротизма испытуемого: высокого, низкого или среднего.

Больше всего значимых корреляций между эффективностью опознания экспрессивных схем лица и свойствами темперамента показывают люди с низким нейротизмом. Однако знак корреляции меняется в зависимости от конкретного темпераментального свойства. Уровень экстравертированности дает только отрицательные зависимости с эффективностью опознания эмоций на лице. Это значит, что лица с *низким* нейротизмом при увеличении показателя экстраверсии показывают уменьшение эффективности опознания экспрессивных схем лица. У испытуемых со *средним* уровнем нейротизма, наоборот, с увеличением уровня экстравертированности растет эффективность опознания

экспрессивных схем лица. У лиц с высоким уровнем нейротизма уровень экстравертированности не оказывает влияния на эффективность опознания, за исключением эмоции радости.

Таблица 1. Корреляции начала опознания предъявляемых паттернов с показателями темпераментной активности личности при высоком нейротизме ($N \geq 17$).

	Э-Н	Н	Ср	СП	СТ	Сэм	Эр	П	Т	Эм	К
лицо	-,16	-,22	-,18	,287	,053	-,13	,51*	,174	,198	-,39*	-,03
гнев	,037	,477*	-,16	-,07	-,37*	,192	,04	,027	-,18	,187	,258
грусть	,094	,204	-,08	,137	,096	,051	,314	-,05	,032	-,03	,326
радость	,424*	,568*	-,1	,327	,294	,884*	-,1	-,09	,074	,455*	-,31
спок.	,159	,582*	,044	-,18	-,17	,073	-,03	,167	,463*	-,2	-,39*
страх	-,28	-,5*	-,57	,721*	,866*	-,98**	-,24	0	-,5	-,98**	-,87**
удивл.	,091	,047	0	,303	-,07	,244	,035	,208	-,08	-,37	-,07
эмоции	,274	,385*	,068	,267	,207	,138	,424	-,08	,258	,031	,251
отвр.	не опознавалось										

Таблица 2. Корреляции начала опознания предъявляемых паттернов с показателями темпераментной активности личности при низком нейротизме ($N \leq 7$).

	Э-Н	Н	Ср	СП	СТ	Сэм	Эр	П	Т	Эм	К
лицо	-,2	-,06	-,43*	-,75**	-,24	,134	,831**	-,77**	-,6**	,515*	-,61**
гнев	-,67**	,492*	-,61**	-,94**	-,55*	,887**	-,4*	-,38*	-,83**	,566**	-,98**
грусть	-,19	0	-,25	-,54**	-,1	,853**	0	-,74**	-,33	,816**	-,71**
радость	-,97**	,979**	-1**	-,7**	,99**	,658**	-,98**	-,28	-,69**	,42*	-,73**
спок.	-,53*	,334	-,77**	-,85**	-,61*	,204	,657**	-,83**	-,73**	,583**	-,71**
страх	-,5*	0	-,98**	-,68**	-,5*	1**	-,76**	-,4*	,866**	,866**	-,87**
удивл.	0	-,18	-,08	-,37**	,078	,753**	,16	-,76**	-,14	,801**	-,55*
эмоции	-,35	,232	-,54*	-,41*	-,38*	,802**	,045	-,77**	-,2	,983**	-,61**
отвр.	не опознавалось										

Таблица 3. Корреляции начала опознания предъявляемых паттернов с показателями темпераментной активности личности при среднем нейротизме ($8 \leq N \leq 16$).

	Э-Н	Н	Сэр	СП	СТ	Сэм	Эр	П	Т	Эм	К
лицо	,327	,041	,151	,241	,004	-,01	,133	,024	-,24	-,31	,143
гнев	,63**	-,1	,613*	,785*	,484*	-,28	,029	,428*	-,18	-,03	,062
грусть	,588*	,101	,678*	,49*	,646*	,008	,061	,463*	-,21	-,04	-,44*
радость	,643*	-,05	,564*	,329	,349	-,28	,16	,38*	-,32	,046	0
спок.	,648*	,176	,542*	,552*	,166	-,2	,167	,134	-,5*	-,14	,051
страх	,473*	,88**	,496*	,496*	,68**	-,84*	,55**	,394*	-,23	,92**	-,37*
удивл.	,094	,047	,27	,27	,128	,006	,092	,178	-,07	-,05	-0
эмоции	,615*	-,2	,489*	,489*	,29	-,03	,033	,584*	-,07	-,36*	-,13
отвр.	не опознавалось										

Жирным шрифтом выделены значимые корреляции

* - уровень значимости 0,05

** - уровень значимости 0,01

Э-Н – уровень экстравертированности; Н – уровень нейротизма; Сэр – социальная эргичность; СП – социальная пластичность; СТ – социальный темп; Сэм – социальная эмоциональность; Эр – предметная эргичность; П – предметная пластичность; Т – предметный темп; Эм – предметная эмоциональность; К - *контроль* (адекватная – неадекватная оценка своего поведения, желание выглядеть лучше, чем на самом деле).

Таблица 4. Корреляции количества правильных ответов на предъявляемые паттерны с показателями темпераментной активности личности при высоком нейротизме ($N \geq 17$).

лицо	,098	,179	,107	,352	,301	-,139	,274	,144	,254	-,336	,241
гнев	-,182	,377*	-,132	,061	,426*	,06	-,015	,237	,241	,487*	,367*
грусть	,044	-,099	,276	-,266	,301	,385*	,441*	-,197	,512*	-,223	-,008
Радость	-,132	,011	,049	-,122	-,032	,178	,049	,383*	,267	-,26	-,5*
спок.	,426*	,494*	-,18	-,31	,541*	-,081	-,144	,246	,02	,373*	-,25
страх	,67*	,084	,555*	,37	,217	-,018	,263	-,24	,387*	-,089	,217
удивл.	-,34	,241	-,205	-,008	-,15	-,097	,063	,371*	,209	,529*	,367*
эмоции	-,163	,103	,034	-,086	-,101	-,092	,241	-,031	,391*	,422*	-,358
отв.	не опознавалось										

Таблица 5. Корреляции количества правильных ответов на предъявляемые паттерны с показателями темпераментной активности личности при низком нейротизме ($N \leq 7$).

	Э-Н	Н	Ср	СП	СТ	Сэм	Эр	П	Т	Эм	К
лицо	-,2	-,064	-,425**	-,751**	-,228	,148	,823**	-,758**	-,605**	,517*	-,62**
гнев	-,479*	,256	-,65**	-,876**	-,515*	,7	-,688**	-,794**	,412*	-,702**	
грусть	-,154	-,08	-,451*	-,663**	-,233	,032	,886**	-,839**	-,495**	,536*	-,509*
радость	-,599*	,525*	-,869**	-,613**	-,744**	,173	,404**	-,81**	-,496**	,606**	-,525**
спок.	-,877**	,776**	-,809**	-,876**	-,854**	,264	,089	-,255	-,946**	,147	-,758**
страх	-,802**	,691**	-,673**	-,85**	-,742**	,216	,072	-,107	-,952**	,006	-,72**
удивл.	-,133	-,077	-,487*	-,56**	-,238	,198	,784**	-,965**	-,337	,758**	-,495**
эмоции	-,513*	,313	-,744**	-,842**	-,588**	,163	,681**	-,809**	-,728**	,544**	-,694**
отв.	Не опознавалось										

Таблица 6. Корреляции количества правильных ответов на предъявляемые паттерны с показателями темпераментной активности личности при среднем нейротизме ($8 \leq N \leq 17$).

	Э-И	И	Сэр	СП	СТ	Сзм	Эр	П	Т	Эм	К
лицо	.503*	.038	.395*	.34	.268	-.119	-.008	.032	-.51*	-.319	-.196
гнев	.27	-.009	.145	.544*	-.054	.124	.414*	.546*	.257	.083	.458*
грусть	.215	-.189	.175	.33	.055	.148	.308	.563*	.155	-.134	.265
радость	.329	-.238	.071	.216	-.168	.12	.13	.332	.099	-.328	.464*
споко.	.165	-.137	.025	.166	-.451*	-.086	.223	.136	-.133	-.254	.362*
страх	-.061	.213	-.177	.053	.148	.403*	.031	.281	.523*	.434*	.104
удивл.	.047	-.365*	.06	.275	-.149	-.136	.042	.286	-.08	-.389*	.088
эмоции	.228	-.19	.093	.373	-.156	.093	.257	.469*	.125	-.189	.382*
отв.	Не опознавалось										

Жирным шрифтом выделены значимые корреляции

* - уровень значимости 0,05

** - уровень значимости 0,01

Испытуемые с высоким уровнем тревожности имеют некоторые особенности при восприятии экспрессивных паттернов лица. Иногда у них проявляется тенденция проецировать собственные эмоции, прежде всего, на спокойное выражение лица, а так же и на другие эмоциональные проявления. Причем, для некоторых испытуемых с высокой тревожностью не имеет значение степень выраженности воспринимаемой эмоции. Полученные наблюдения так же противоречат известным утверждениям об особо тонком восприятии тревожными людьми эмоций других людей. Этот вопрос требует дополнительного экспериментального исследования. Кроме того, во время проведения экспериментальных работ был замечен факт общения некоторых испытуемых с предъявляемой схемой эмоционального лица, хотя, в данном случае, исследовался процесс восприятия на микрогенетическом уровне. В условиях «нормального» восприятия ($t > 100$ мс, отсутствие «шумовой» завесы) подобные факты уже наблюдались исследователями, когда люди вели себя как в реальной

ситуации общения по отношению к герою романа, лицу на фотографии или еще с чем-то подобным (Бубер, 1995, Подорога, 1995). Объяснение этому явлению кроется в социальной природе человека. Осознание и самого себя, и другого возможно только в рамках коллективных форм жизни. Как правило, этот процесс носит эмоционально-чувственный характер. Более конкретно он совершается как процесс идентификации, или отождествление одного человека с другим. В процессе коммуникации человек «вживается» в личность другого, примеряя на себя его черты, чувства, эмоции, но при этом сохраняя свою индивидуальность (Барабанщиков, 2004). Тот факт, что эмоциональные схемы и лицо вызывают заметную (пусть неожиданную) эмоциональную реакцию у некоторых испытуемых, которую можно интерпретировать как идентификацию, так же можно расценивать, как доказательство особого статуса эмоционального лица.

Эффективность распознавания экспрессивной схемы «удивление» не показывает никакой взаимосвязи с характеристиками темпераментальной активности у испытуемых со средним и высоким уровнем нейротизма. И только у лиц с низким уровнем нейротизма эффективность опознания «удивления» положительно коррелирует с эмоциональной чувствительностью и отрицательно с пластичностью без дифференциации на социальную и предметную. Положительные корреляции с эмоциональной чувствительностью не только удивления, но и других эмоциональных паттернов представляется закономерным, поскольку в опроснике Русалова этим показателем изменяется реакция на эмоции человека. И, естественно, экспрессивные лицевые схемы, выражая основные эмоции человека, дают положительную связь с этим показателем. Принимая во внимание интерпретацию Русаловым предметной пластичности как степени гибкости мышления, степень его стереотипности, уровень переключаемости с одного вида деятельности на

другой и т.п., и имея высокую отрицательную корреляцию эффективности опознавания «удивления» с этим показателем, мы получаем весьма интересный результат. Экспрессивная схема «удивление» имеет прямое отношение к процессу мышления. С социальной пластичностью эта экспрессивная схема также показывает отрицательную корреляцию, но значительно меньше по абсолютному значению. Социальная пластичность трактуется Русаловым как легкость – трудность вступления в новые контакты, коммуникативная рефлексивность – импульсивность, легкость – трудность переключения в процессе общения и т.п. По эффективности опознавания экспрессивной схемы «удивление» показатели социального и предметного темперамента оказались связанными между собой.

Эффективность опознавания экспрессии «страха» имеет неизменно высокую взаимосвязь фактически со всеми характеристиками темпераментальной активности, но знак корреляции нестабилен, в большинстве случаев все же сохраняя отрицательный характер.

Свойства социального и предметного темперамента (эргичность, пластичность, темп) показывают значимые отрицательные корреляционные зависимости с эффективностью опознавания экспрессивных схем лица только для лиц с *низким* уровнем нейротизма. Эти же испытуемые имеют высокие положительные корреляции между эффективностью опознавания экспрессии лица и эмоциональной чувствительностью. То есть, низкий уровень нейротизма, узкий диапазон сферы контактов и деятельности, замкнутость, пассивность, коммуникативная рефлексивность, медленная вербализация, высокая степень чувствительности к неудачам в общении и деятельности сочетаются с высокой эффективностью опознавания эмоций.

На фоне *среднего* уровня нейротизма наблюдаются положительные корреляции между теми же показателями. Но значимые положительные корреляции принимают более эпизодический характер, особенно в

отношении свойств предметного темперамента. У лиц с высоким уровнем нейротизма какие-либо связи эффективности опознания эмоций с показателями социального и предметного темперамента не наблюдаются. Исключение составляет эмоция страха, эффективность опознания которой отрицательно коррелирует со всеми свойствами темперамента. То есть, на фоне высокого нейротизма высокий уровень экстравертированности, высокий уровень нейротизма, высокие показатели по свойствам социального и предметного темпераментов сочетаются с низкой эффективностью распознавания экспрессии страха.

Из всего вышеизложенного следует, что начало опознания эмоций оказывается несомненно связанным с проявлением темпераментальных качеств личности. Особенно ярко это выражено на фоне низкого нейротизма. Причем, в целом, чем раньше опознается эмоция, тем больше выраженность темпераментальных качеств. Только эмоциональная чувствительность увеличивается вместе со смещением начала опознания эмоций в более раннюю фазу. В большей степени указанная закономерность касается качеств социального темперамента, для предметного темперамента это неоднозначно.

Ярко проявляясь на фоне низкого нейротизма, у лиц со средним нейротизмом эта зависимость несколько ослабевает и меняет знак. То есть, чем раньше начинает опознаваться эмоция, тем ярче выражается темпераментальное качество. На фоне высокого нейротизма эта закономерность еще более угасает. Это, опять же, в основном относится к характеристикам социального темперамента. Для показателей предметного темперамента картина остается стабильно неоднозначной.

Что касается дисперсионного анализа, то его результаты показали высоко значимые отличия по используемым в эксперименте видам стимулов (коэффициент Фишера $F=17,105$ с уровнем значимости $Sig=,000$). Это значит, что предъявляемые эмоциональные схемы значимо

отличаются друг от друга по эффективности опознания. Такой факт можно считать еще одним плюсом в копилку доказательств существования отдельных базовых эмоций и полнотправности использования эмоциональных схем в качестве их представителей.

Кроме того, дисперсионный анализ был проведен с целью выявить, существуют ли значимые отличия в опознании эмоциональных схем между выделенными группами по уровню нейротизма, а также по уровню экстравертированности и других темпераментальных характеристик. В результате были получены неожиданные, но весьма интересные данные. Несмотря на высокие корреляционные зависимости между эффективностью опознания эмоциональных схем и темпераментальными характеристиками, все же не существует значимых отличий по эффективности опознания эмоций у лиц с различным уровнем нейротизма и экстравертированности. Но обнаружены с высоким уровнем значимости различия между группами испытуемых, различающихся по уровню эмоциональности (и социальной, и предметной), выявляемой методикой Русалова (коэффициент Фишера $F=15,127$; уровень значимости $Sig=,000$). По-разному проявляется эффективность опознания эмоциональных схем у лиц с высокой, средней и низкой эмоциональностью. Эта эффективность выше у лиц с высокой и низкой эмоциональностью, чем у лиц со средней эмоциональностью. Кроме того, дисперсионный анализ показал значимые отличия выделенных групп с различной эмоциональностью и по степени проявления нейротизма ($F=3,403$ и $Sig=,048$ для социальной эмоциональности; $F=6,235$ и $Sig=,006$ для предметной пластичности). Причем выявлена почти полная идентичность этих показателей. Хотя если испытуемых поделить на группы по уровню нейротизма (высокий, средний, низкий), то различия между этими группами в опознании эмоций оказываются незначимыми. Напрашивается вывод о том, что нейротизм по Айзенку и эмоциональность по Русалову измеряют весьма сходные

психологические структуры (может быть даже одну и ту же), но с различной степенью точности.

Таким образом, подводя итог проведенному анализу результатов исследования связи эффективности опознания эмоциональных схем и показателями формально-динамической активности личности, можно сделать следующие выводы.

1. Используемые в эксперименте эмоциональные лицевые схемы значительно отличаются друг от друга по эффективности опознания.
2. Наиболее эффективны в опознании эмоциональных схем лица с низким уровнем нейротизма и средним уровнем экстравертированности. На фоне более позднего начала опознания экспрессивных схем, они дают наибольшее число правильных ответов.
3. Лица с высоким уровнем нейротизма имеют некоторые особенности при опознании эмоциональных схем лица, а именно: они раньше всех начинают догадываться о наличии эмоций; у них наблюдается тенденция проецировать собственные эмоции на воспринимаемые эмоциональные паттерны; имеет место факт общения с воспринимаемыми эмоциональными паттернами.
4. Различные уровни эмоциональности (Русалов, 1990) показывают значимые различия в эффективности опознания эмоциональных схем.
5. Различные уровни эмоциональности (Русалов, 1990) показывают значимые различия по степени нейротизма, причем изменения уровня нейротизма точно повторяют изменения уровня эмоциональности.

Литература

Айзенк Г.Ю. Структура личности. СПб.: Ювента. М.: КСП+, 1999.

Артемова Н.Г. Восприятие психологических характеристик человека по «разделенному лицу»: Автореф. дис...канд. психол. наук. М., 2003.

Барабанщиков В.А. Динамика зрительного восприятия. М.: Наука, 1990.

Барабанщиков В.А. Исследование восприятия эмоционального состояния человека по выражению лица / В.А. Барабанщиков, Т.Н. Малкова // Проблемы общения в психологии. - М.: Наука, 1981.

Барабанщиков В.А. Восприятие и событие. СПб.: Алтея, 2002.

Барабанщиков В.А. Системность. Восприятие. Общение / В.А. Барабанщиков, В.Н. Носуленко. - М.: Институт психологии РАН, 2004.

Бодалев А.А. Личность и общение. М.: Педагогика, 1983.

Бубер М. Два образа веры. М.: Республика, 1995.

Гибсон Дж. Экологический подход к зрительному восприятию. М.: Прогресс, 1988.

Лабунская В.А. Невербальное поведение. Ростов: Изд-во Ростовского ун-та, 1986.

Подорога В.А. Феноменология тела. М.: Ad Marginem, 1995.

Исследование характеристик движений глаз в процессе информационного поиска в связи с проблемой кодирования зрительной информации / Т.П. Зинченко, М.М. Киреева, Л.И. Рябинкина, Г.В. Бурый, М.З. Остромоухов // Эргономика: Труды ВНИИТЭ. - М., 1978. - Вып. 16.

Рождественский Ю.Т. Эмоциональность как фактор надежности работы человека-оператора // Проблемы инженерной психологии. Ярославль, 1979. - Вып. 3.

Русалов В.М. Опросник структуры темперамента. М.: Изд-во ИП АН СССР, 1990.

Журавлев А.Л. Коммуникативные качества личности руководителя и эффективность руководства коллективом // Психологический журнал, 1983. Т 4, № 1.

Фейгенберг Е.И. Некоторые аспекты исследования невербальной коммуникации: за порогом рациональности / Е.И. Фейгенберг, А.Г. Асмолов // Психологический журнал. – 1989. №6.

Belsky J. Continuity and discontinuity in infant negative and positive emotionality: Family antecedents and attachment consequences / J. Belsky, M. Fish, D. Russel // Devel. Psychological, 1991. V. 32.

Ekman P. Facial expressions of emotion / P. Ekman, H. Oster // Annual Review of Psychology. - 1979. №20.

Fagan J. F. Infant's recognition of invariant features of faces / J. F. Fagan // Child Development. 1976. №47.

Сведения об авторах:

Фамилия, имя, отчество	Ученая степень, звание	Место работы	Электронный адрес
Альмикулов Джекшен Эмильевич		МГУ им. Ломоносова, Москва, каф. высшей нервной деятельности	dj_alym@mail.ru
Антонова Татьяна Яковлевна	канд. психол. наук	МГУ им. Ломоносова, Москва, ф-т психологии	matweewa-com@yandex.ru
Бабенко Виталий Вадимович	док. биол. наук, проф.	Каф. психофизиологии, РГУ, Ростов-на-Дону	bvv@psyf.rsu.ru
Барабанщиков Владимир Александрович	док. психол. наук, проф., чл.-корр. Академии РАО	Институт психологии РАН, Москва	sbar@psychol.ras.ru
Белопольский Виктор Исаевич	канд. психол. наук	Институт психологии РАН, Москва	vbelop@psychol.ras.ru
Бибиков Николай Григорьевич	док. биол. наук	ФГУП ГИЦ Акустический институт им. акад. Н.Н. Андреева	bibikov@akin.ru, nbibiov1@yandex.ru
Божинская Марина Александровна		Каф. психофизиологии, РГУ, Ростов-на-Дону	bvv@psyf.rsu.ru
Гарусев Александр Владимирович		МГУ им. Ломоносова, Москва, ф-т психологии	percept5@mail.ru

Гласко Андрей Владленович	канд. физ.- мат. наук, доцент	МГТУ им. Баумана, Москва.	petronyi@mail.ru
Головина Галина Михайловна	канд. психол. наук, доцент	Институт психологии РАН, Москва	mgol@ras.ru
Головина Елена Владимировна	канд. психол. наук	Институт психологии РАН, Москва	golena@psychol.ras.ru
Греченко Татьяна Николаевна	док. психол. наук, проф.	Институт психологии РАН, Москва	ngrech@psychol.ras.ru; grecht@mail.ru
Гусев Алексей Николаевич	док. психол. наук, проф.	МГУ им. Ломоносова, ф-т психологии, Москва	angusev@mail.ru
Давилова Марина Валерьевна	канд. биол. наук	Институт физиологии РАН им. Павлова, СПб	dan@pavlov.infran.ru
Дубровский Виктор Ефимович		МГУ им. Ломоносова, Москва, ф-т психологии	vicdubr@gmail.com
Евтихин Дмитрий Владимирович	канд. биол. наук, доцент	МГУ им. Ломоносова, Москва	evtikhin@neurobiology.ru
Значев Михаил Михайлович		МГУ им. Ломоносова, Москва, ф-т психологии	
Измайлов Чингис Абильфович	док. психол. наук, проф.	МГУ им. Ломоносова, Москва	ch_izmailov@mail.ru
Ищенко Станислав Михайлович	канд. физ.- мат. наук	ФГУП ГИЦ Акустич. ин-т им. ак. Андреева	

Караванова Екатерина Евгеньевна		МГУ им. Ломоносова, Москва, ф-т психологии	matweewa-com@yandex.ru
Козлов Анатолий Егорович		ФГУП «НИИЦ автом. Приборов им. Пелюшкина», Москва	nfy7n@yandex.ru
Крылов Андрей Константинович		Институт психологии РАН, Москва	krylov@psychol.ras.ru
Куракова Ольга Александровна		МГУ им. Ломоносова, ф-т психологии, Москва	ilmatar@inbox.ru
Лебедев Артур Николаевич	док. биол. наук, проф.	Институт психологии РАН, Москва	artleb@mail.ru
Лебедева Екатерина Владимировна	канд. психол. наук	Российский гос. профессионально- педагогический ун-т, Екатеринбург	ekaterina@@mail66.ru
Матвеева Лидия Владимировна	док. психол. наук	МГУ им. Ломоносова, Москва, ф-т психологии	matweewa-com@yandex.ru
Меньшикова Галина Яковлевна	канд. психол. наук	МГУ им. Ломоносова, Москва, ф-т психологии	MGJa@rambler.ru
Молтон Д.Д.	DSc	Кембриджский Университет, ф-т эксперимент. психологии,	jml23@cam.ac.uk
Морозов Владимир Петрович	док. биол. наук, профессор	Институт психологии РАН	

Мочалова Юлия Васильевна	канд. психол. наук	МГУ им. Ломоносова, Москва, ф-т психологии	matweewa-com@yandex.ru
Носуленко Валерий Николаевич	док. психол. наук	Институт психологии РАН, Москва	valery.nosulenko@gmail.com
Оболенов Александр Александрович	док. психол. наук	Институт психологии РАН, Москва	zobo@psychol.ras.ru
Огнивов Василий Валерьевич		Институт проблем передачи информации РАН	wwoo@yandex.ru
Пахомов Алексей Петрович	канд. психол. наук	РУДН, Москва	mim.ruds@hotbox.ru
Петрович Дарья Леонидовна		РГГУ, Москва	shpagonova@mail.ru
Полянский Владимир Борисович	док. биол. наук, проф.	МГУ им. Ломоносова, Москва	pol@neurobiology.ru
Ратанова Тамара Анатольевна	док. психол. наук, проф.	МГОПУ им. Шолохова	sergevitb@mail.ru
Римская-Корсакова Людмила Красармовна	канд. физ.-мат. наук	ФГУП «Акустический институт им. академика Андреева», Москва	lkrk@akin.ru
Рожкова Галина Ивановна	док. биол. наук, канд. физ.-мат. наук	Институт проблем передачи информации РАН	gir@itp.ru
Савченко Татьяна Николаевна	канд. психол. наук, доцент	Институт психологии РАН, Москва	msavch@psychol.ras.ru
Садов Василий Алексеевич	канд. психол. наук, доцент	ГУГН, Москва	sadov1952@mail.ru

Селиванова Любовь Андреевна		Институт проблем экологии и эволюции человека им. Савицкого, Москва	lyubov_selivanova@gmail.com
Скотникова Ирина Григорьевна	канд. психол. наук	Институт психологии РАН, Москва	iris@psychol.ras.ru
Соколов Евгений Николаевич	док. биол. наук, проф.	МГУ им. Ломоносова, Москва, кафедра психофизиологии	pol@neurobiology.ru
Сурнина Ольга Ефимовна	док. биол. наук, профессор	Российский гос. профессионально- педагогический ун-т, Екатеринбург	Olga.Sarnina@volumnet.ru
Теленев Вадим Николаевич	канд. физ.- мат. наук	ФГУП «Акустич. ин-т им. Андреева», Москва	telepnev@akin.ru
Трошенкова Татьяна Олеговна		ФГУП «Акустич. ин-т им. Андреева», Москва	nfy7n@yandex.ru
Уточкин Игорь Сергеевич	канд. психол. наук	Гос. ун-т – Высшая Школа Экономики	iutochkins@rambler.ru
Уфимцев Михаил Валентинович	канд. физ.- мат. наук	МГУ им. Ломоносова, Москва, ф-т ВМиК	ufimtzev@yahoo.com

Хрисанфова Людмила Аркадьевна		Нижегородский Гос. Университет им. Лобачевского, каф. общ. и соц. психологии	khoe.mail.ru
Чуприкова Наталья Ивановна	док. психол. наук	Психологический институт РАО	
Шендяпин Валентин Михайлович		Московский энергетический ин-т	valshend@mpei.ru
Шпагонова Наталья Григорьевна	канд. психол. наук	Институт психологии РАН, Москва	shpagonova@mail.ru

Научное издание

Психофизика сегодня

Под редакцией В.Н.Носуленко, И.Г.Скотниковой

Обложка — П.П.Ефремов

ИД № 064615 от 07.06.01.

Сдано в набор 20.10.06. Подписано в печать 01.02.07.

Формат 60 х 90/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс

Уч.-изд. л. 14,6.

Тираж 500 экз. Заказ 1207

Издательство «Институт психологии РАН»

129366, Москва, ул. Ярославская, 13.

Тел.: (095) 682-6102

Отпечатано в типографии «Макс-Принт»

г. Москва