

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, Dyrnes, 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 простоянных 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 сигмоидной 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.

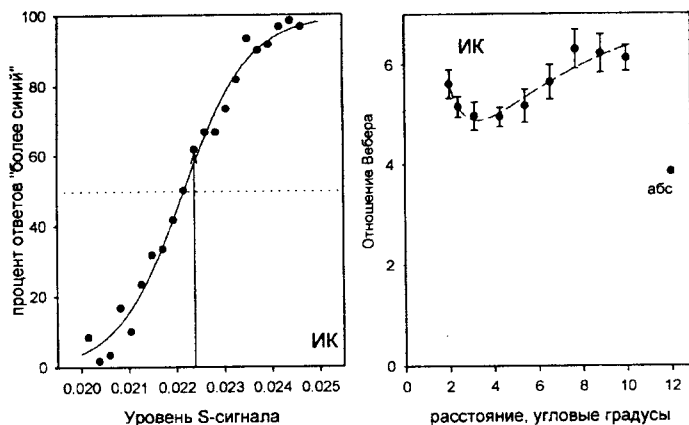


Рисунок 1. Слева: психометрическая функция, полученная при применении первого варианта «абсолютной оценки». Справа: зависимость порога различения цвета от расстояния между сравниваемыми стимулами и в случае первого варианта «абсолютной оценки».

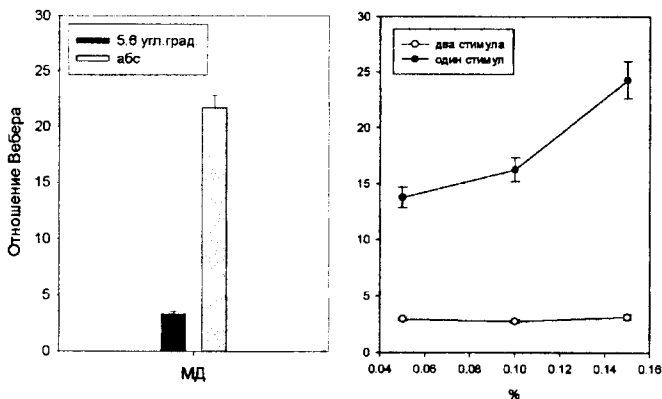


Рисунок 2. Слева: Пороги различения цвета, полученные в двух условиях – сравнение двух одновременных стимулов, находящихся на расстоянии 5.6 угловых градусов

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., & Dyrnes, 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.