



НЕЗАВИСИМОСТЬ ПРОСТОЙ ЗРИТЕЛЬНО-МОТОРНОЙ РЕАКЦИИ ОТ ПРЕДСОЗНАТЕЛЬНОЙ КОМПОНЕНТЫ ОЩУЩЕНИЯ ПРИ ОБРАТНОЙ МАСКИРОВКЕ ДВУХЦВЕТНЫМИ СТИМУЛАМИ

СОБОЛЕВ В.И.

Гуманитарно-педагогическая академия (филиал) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского» в г. Ялта, г. Ялта, Российская Федерация
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9318-5224>, e-mail: v.sobolev@mail.ru

Целью работы явилось определение методом ЭМГ-анализа значения времени обнаружения хроматически разнородных сверхкоротких (0,1 мс) стимулов (stimulus detection time, sDT) в составе простой зрительно-моторной реакции, реализуемой в условиях блокады процесса формирования сенсорного ощущения в парадигме полной последовательной обратной световой маскировки двухцветной модели (ОСМ). Установлено, что эффект полной (100%) двухцветной ОСМ надежно реализуется при следующих значениях ее параметров: длительность тестового стимула (красный и зеленый цвета) 0,1 мс, длительность стимула-маскера (синий) 45 мс, диапазон асинхронии включения стимулов (stimulus onset asynchrony, SOA) 0—25 мс. В диапазоне значений SOA от 25 до 35 мс полная обратная маскировка регистрируется в 14% случаях, а при SOA, равном 40 мс, ОСМ полностью исчезает. Показано, что время обнаружения стимула (sDT) в составе простой зрительно-моторной реакции при двухцветной обратной световой маскировке не зависит от ее эффективности, цвета тестового стимула, величины асинхронии в диапазоне (0—40 мс), длительности стимула-маскера, а также не нуждается в формировании осознанного светового ощущения. Сравнительный анализ значений sDT в условиях полной (100%) ОСМ и при ее отсутствии позволяет предполагать, что механизм обратной световой маскировки при ее двухцветной модели не связан с периферическим рецепторным звеном зрительного анализатора, а реализуется в его центральных отделах.

Ключевые слова: обратная маскировка, двухцветная модель обратной световой маскировки, «Fehrer—Raab»-эффект, время обнаружения хроматических стимулов, ЭМГ-метод измерения времени реакции.

Для цитаты: *Соболев В.И.* Независимость простой зрительно-моторной реакции от предсознательной компоненты ощущения при обратной маскировке двухцветными стимулами // Экспериментальная психология. 2020. Том 13. № 2. С. 4—16. DOI: <https://doi.org/10.17759/exppsy.2020130201>

THE INDEPENDENCE OF A SIMPLE VISUAL-MOTOR REACTION FROM THE PRECONSCIOUS COMPONENT OF SENSATION DURING BACKWARD MASKING BY TWO-COLOR STIMULI

VALERYI I. SOBOLEV

*Academy of the Humanities and Pedagogics (branch) of V.I. Vernadsky
Crimean Federal University in Yalta, Yalta, Russia,*
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9318-5224>, e-mail: v.sobolev@mail.ru

CC BY-NC



The model of visual backward masking in its two-color modification is applicable in the study of the mechanisms of conjugation of the processes of sensory sensation formation and realization of sensorimotor reactions. The effect of the full (100 %) two-color backward masking is reliably implemented with the following values of its parameters: the duration of the test stimulus (red and green) is 0 ms, the stimulus masker (blue) is 45 ms, and the stimulus onset asynchrony (SOA) is 0.1 – 25 ms. In the range of SOA values from 25 to 35 ms, the efficiency of backward masking decreases to 14 %, and with an SOA of 40 ms, it completely disappears. The stimulus detection time (sDT) as part of a simple visual-motor reaction in the paradigm of the model of two-color backward masking does not depend on its effectiveness, the color of the test stimulus, the value of asynchrony in the range (0 – 40 ms), the duration of the stimulus-masker in the formation of a conscious light sensation. A comparative analysis of the stimulus detection time values under the conditions of full (100 %) backward masking and in its absence suggests that the mechanism of the two-color backward masking not associated with photoreceptors, but is implemented in the central parts of the visual analyzer.

Keywords: backward masking, two-color model of backward masking, “Fehrer–Raab” effect, chromatic stimulus detection time, electromyographic measurement of stimulus detection time.

For citation: Sobolev V.I. The Independence of a Simple Visual-Motor Reaction from the Preconscious Component of Sensation during Backward Masking by Two-Color Stimuli. *Ekspierimental'naya psikhologiya = Experimental psychology (Russia)*, 2020. Vol. 13, no. 2, pp. 4–16. DOI: <https://doi.org/10.17759/exppsy.2020130201> (In Russ.).

Введение

Важное место в изучении проблемы соотношения психического и физиологического отводится решению вопроса сопряжения процессов формирования ощущения и реализации собственно эффекторной реакции, например, зрительно-моторной [1; 4; 5; 6; 15; 18; 29]. В фундаментальных работах ряда авторов разрабатываются теории формирования ощущения, восприятия и осознания, построенные на так называемом принципе «кольца» А.М. Иваницкого [3; 4], «динамического ядра» Дж. Эделмена [20], а также на результатах исследований В.Я. Сергина [7; 8], Ф. Крик [19] и др. По данным А.М. Иваницкого [3], ощущение формируется после нескольких возвратных циклов возбуждения, замыкающихся в первичной зрительной коре, с величиной кванта, равного 100–150 мс. Время повторного входа сигналов в модели Дж. Эделмена [20] оценивается величиной до 300 мс, а латентность позднего визуального компонента на ЭЭГ, отражающего эффект перцепции, достигает 420 мс [10; 24; 27]. Между тем известно, что время простой зрительно-моторной реакции (stimulus reaction time, sRT) колеблется в пределах 160–200 мс в зависимости от методического исполнения эксперимента [9; 29]. Причину возникновения такого рода временного разрыва (более 200 мс) позволяет объяснить гипотеза существования механизма разобщения процесса реализации моторного ответа при выполнении простой зрительно-моторной реакции, с одной стороны, и собственно процесса формирования осознанного светового ощущения – с другой. В этой связи представляется важным решение принципиального вопроса: необходимо ли осознание ощущения для запуска и выполнения ПЗМР и каковы механизмы ее реализации? Первые достоверные инструментальные исследования, проведенные в этом направлении, были выполнены Элизабет Ферер и Давидом Раабом [21]. Авторы установили, что время реакции на тестовый световой стимул в условиях обратной маскировки метаконтрастом соответствовало времени реакции в условиях без использования световой маскировки («Fehrer–Raab effect»); этот эффект сохранялся при изменении



межстимульного интервала в диапазоне 0–75 мс. За верхними пределами этого интервала дополнительное раздражение, вызывающее возбуждение новых нервных элементов, уже не может помешать сенсорному осознанию первого, тестового, стимула [2; 6; 13].

В классической работе E. Fehrer, D. Raab [21], так же как и в более поздних исследованиях разных авторов, использовали модель так называемой метаконтрастной световой маскировки [13; 17; 22]. Такой способ маскировки имеет ряд достоинств, но и определенные недостатки, связанные, в частности, с ее черно-белым исполнением и в той или иной степени сложной конфигурацией предъявляемого зрительного стимула. Таких недостатков в значительной степени можно избежать в случае использования модели двухцветной ОСМ вспышкой света, когда цвет тестового и маскирующего стимулов различаются.

При изучении «Fehrer–Raab effect» [21] отдельный интерес представляет вопрос об особенностях его реализации при использовании сверхкоротких (десятки мкс) тестовых стимулов слабой интенсивности, а также вопрос о выборе для регистрации наиболее информативного показателя в составе простой зрительно-моторной реакции и наиболее точного метода его измерения. В последнем случае, с нашей точки зрения, предпочтение следует отдать параметру «время обнаружения стимула – stimulus detection time, sDT» [29], а для его измерения использовать электромиографический метод.

Наконец, представляется важным определение времени, необходимого для процесса консолидации следов тестового стимула в условиях ОСМ при формировании осознанного ощущения [6]. На практике этот период вычисляется как время от начала предъявления тестового стимула до момента запуска маскера (stimulus onset asynchrony, SOA). В парадигме ОСМ после окончания этого периода повторная стимуляция маскером уже не будет оказывать существенного влияния на процесс осознания, а эффект ОСМ исчезает. В работе Э. Ферер и Д. Рааб [21] этот параметр ОСМ составил 75 мс, но не исключено, что в других условиях последний можеткратно отличаться.

Целью работы явилось определение методом регистрации электромиограммы значения времени обнаружения хроматически разнородных сверхкоротких (0,1 мс) стимулов (stimulus detection time, sDT) в составе простой зрительно-моторной реакции, реализуемой в условиях блокады процесса формирования ощущения в парадигме полной обратной световой маскировки двухцветными стимулами, а также проведение анализа условий и закономерностей проявления маскировки.

Методика

Характеристика контингента испытуемых. Все исследования при соблюдении общепринятых этических норм были проведены с участием 14 девушек-студенток в осенний период 2017–2018 учебного года. Возраст испытуемых составлял $18,3 \pm 0,2$ года.

Процедура и оборудование. В работе использовался классический алгоритм исследования эффектов ОСМ [2]. В качестве раздражителей предъявлялась пара светоимпульсов, состоящая из тестового стимула (1-й импульс – ТС) и маскера (2-й импульс – МС); предъявление осуществлялось последовательно с регулируемым интервалом времени (от начала ТС до начала МС, асинхрония включения стимулов, stimulus onset asynchrony, SOA).

В эксперименте № 1 (световая маскировка не использовалась) с помощью регистрации ЭМГ-ответа измеряли значение наиболее информативного параметра простой зрительно-моторной реакции (ПЗМР) – время обнаружения стимула (sDT) в ответ на изолированное предъявление красного (30 измерений), зеленого (30), а также случайным образом



чередующихся красного (30) или зеленого (30) световых стимулов («красный/зеленый»). Во всех случаях длительность светоимпульсов составляла 0,1 мс.

В эксперименте № 2 определяли параметры стимуляции, при которых развивался максимально возможный (100%) эффект полной ОСМ тестового стимула последующей вспышкой синего света (маскера). В случае предъявления ТС и МС испытуемые должны были твердо идентифицировать факт проявления (ДА) или отсутствия (НЕТ) полной ОСМ. Предполагались только два ответа (ДА или НЕТ) на два вопроса: а) видят ли испытуемые одну световую вспышку (синий цвет МС, маскирующего ТС) в случае полной маскировки (ответ — ДА) или б) две отдельные цветоразличимые вспышки света (тестовый стимул и стимул маскер), т. е. эффект полной маскировки отсутствует (ответ — НЕТ). Уточнялось, что ответ должен быть однозначным (ДА или НЕТ), а в случае неопределенности цветоощущения испытуемым предлагалось отвечать «НЕТ». Маскировка считалась полной (100%), если испытуемый во всех пробах-тестах (10 попыток) однозначно отвечал «ДА». В случае отсутствия полной маскировки или сомнения в этом испытуемый отвечал «НЕТ» (эффективность ОСМ меньше 100%). В ходе опыта первоначально устанавливали равную длительность ТС и МС на уровне 0,1 мс (т. е. ТС и МС в шкале времени накладывались друг на друга, а SOA, следовательно, равнялась нулю). При таких параметрах эффект маскировки еще не проявлялся, а испытуемые всегда идентифицировали две цветоразличимые вспышки света. Затем длительность стимула-маскера (синего) увеличивали до 45 мс при $ТС = 0,1$ мс и $SOA = 0$, что вызывало эффект полной (100%) обратной маскировки. В дальнейшем при неизменной длительности ТС и МС (соответственно, 0,1 мс и 45 мс) SOA-интервал последовательно удлиняли от исходного уровня 0 мс до 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 или 40 мс (варианты теста). Количество предоставляемых попыток в каждом тесте-варианте при оценке факта «наличие маскировка/отсутствие маскировки» составляло 10.

В эксперименте № 3 через 30 мин после процедуры определения показателя степени полной ОСМ измеряли время обнаружения светового стимула при каждом значении SOA-интервала (0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 и 40 мс) и неизменных параметрах $ТС = 0,1$ мс и $МС = 45$ мс. Число измерений sDT при каждом значении SOA составляло 30 с паузами, изменяющимися в случайном порядке в диапазоне от 4 до 7 с. Описанный в экспериментах № 2 и № 3 цикл выполняли трижды для световых пар «ТС—МС»: «красный—синий», «зеленый—синий» и «(красный/зеленый) — синий».

В блоке светостимуляции экспериментальной установки SOA-интервал между тестовым стимулом и стимулом-маскером мог быть выбран в диапазоне от нуля (1-й и 2-й импульсы накладывались друг на друга) до 40 мс. В качестве источника света использовали RGB-светодиод (Ultra brightness BL-L515RGBС), что позволило инициировать вспышку красного (Ultra Orange 630 nm), зеленого (Ultra Pure Green 525 nm) или синего (Blue 430 nm) света. В данном типе светодиода красный, зеленый и синий излучатели располагаются в углах равнобедренного треугольника со стороной не более 1 мм. С учетом достаточно большого расстояния сетчатки глаза до излучателя (40 см) и рассеивающей линзы (угол рассеивания 20°) стимулы ТС и МС предъявлялись в одну и ту же, хотя и обширную, область сетчатки. Значение силы света для каждого светового излучателя (красного, зеленого и синего) являлось постоянной величиной и устанавливалось на приемлемом для глаза уровне 2000 mcd (luminous intensity).

В блоке ЭМГ-канала с помощью биоусилителя (на базе INA118) и электронного самописца (S-Recorder-L, Россия) регистрировалась электромиограмма, запись которой

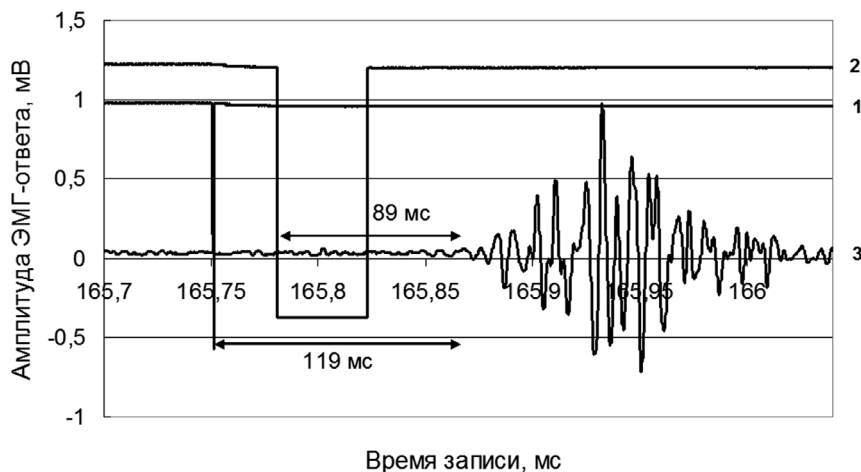


Рис. 1. К определению параметра «время обнаружения стимула – sDT» при выполнении простой зрительно-моторной реакции методом регистрации ЭМГ-ответа в парадигме обратной световой маскировки: 1 – тестовый стимул длительностью 0,1 мс; 2 – стимул-маскер длительностью 45 мс; 3 – электромиограмма (ЭМГ-ответ); SOA-интервал (по переднему фронту световых импульсов) равен 30 мс; вычисленное значение параметра sDT составляет 119 мс; условие измерения (состояние) – полная обратная световая маскировка вспышкой света

в дальнейшем использовалась для вычисления параметра ПЗМР – «времени обнаружения стимула (sDT)». Численно значение параметра sDT соответствовало отрезку времени (рис. 1) от момента предъявления сенсорного стимула до момента появления первых ЭМГ-потенциалов (ЭМГ-ответ). Для регистрации ЭМГ использовали ЭМГ-электроды диаметром 10 мм, которые крепились на коже (4 см друг от друга) над мышцами внешней поверхности предплечья, участвующих в сгибании пальцев кисти.

В ходе опыта в затемненной комнате правая рука испытуемого с наложенными ЭМГ-электродами в положении «сидя» свободно располагалась вдоль тела, что обеспечивало низкий уровень исходного ЭМГ-тонуса, а реакция на сенсорный стимул осуществлялась путем максимально быстрого встречного сведения большого и указательного пальцев кисти.

Статистический анализ. При статистической обработке данных использовали пакеты прикладных программ Excel и Statistica 7.0. После определения характера распределения данных в сводных вариационных рядах (тест Шапиро–Уилка) рассчитывали основные показатели описательной статистики. Статистическую значимость различий между двумя средними арифметическими величинами определяли с помощью двухвыборочного t-теста Стьюдента для выборок с различными дисперсиями при заданном уровне значимости $p < 0,05$. При оценке различий между двумя множествами использовали двухвыборочный F-тест для дисперсий. Для характеристики вариабельности исследуемых показателей рассчитывали величины дисперсии выборок и коэффициенты вариации. Во всех случаях сравнение анализируемых показателей и оценку статистической значимости различий проводили на основании проверки нулевой и альтернативной гипотез.

Результаты

Эксперимент № 1. Анализ показал (табл.), что время обнаружения светового стимула (sDT) при выполнении ПЗМР составило для вспышки красного света $141 \pm 1,1$ мс,



зеленого — $142 \pm 1,2$ мс и при их чередовании $143 \pm 1,5$ мс, т. е. статистически значимо не различалось ($p > 0,05$). Отсутствовали различия и со стороны коэффициентов вариации (3,5–4,1%) и величины дисперсий ($p > 0,05$). Характер распределения данных в вариационных рядах описывался нормальным законом.

Эксперимент № 2. На следующем этапе исследований были найдены параметры стимуляции (длительность стимула-маскера и значение SOA-интервала), при которых проявлялась световая маскировка тестовых световых раздражителей (красного или зеленого) вспышкой синего света стимула-маскера (табл.). Анализ показал, что эффект полной ОСМ («Вижу только синюю вспышку света») легко достижим, начиная с минимального в наших исследованиях SOA-интервала 0 мс при длительности стимула-маскера 45 мс. Зона полной ОСМ простиралась в диапазоне SOA от 0 до 25 мс, сменяясь в дальнейшем зоной ее угасания (30–40 мс). Например, при алгоритме «Green—Blue» зона угасания начиналась при достижении SOA значения 30 мс, о чем свидетельствует уменьшение степени эффективности ОСМ до ($65,9 \pm 7,6\%$). Во всех модификациях опыта значение точки начала угасания ОСМ стимула было одинаковым и соответствовало SOA-интервалу 30 мс. Следовательно, длительность критического периода, необходимого для завершения начального этапа процесса осознания хроматических стимулов в парадигме двухцветной ОСМ, во-первых, для всей группы испытуемых (100%) составила 25 мс и, во-вторых, не зависела от цвета тестового стимула. При SOA, равной 40 мс, эффект ОСМ во всех случаях полностью исчезал (0%).

Эксперимент № 3. После нахождения параметров и условий развития ОСМ было измерено время обнаружения стимула как составной части ПЗМР. Результаты экспериментов показали, что величина показателя sDT не зависела от параметров стимуляции. Например, в случае реакции на изолированный («одиночный») тестовый стимул красного света значение sDT составило $141 \pm 1,1$ мс, а при использовании стимула-маскера минимальной длительности (при комбинации «0,1–0,1–0 мс», табл.), когда эффект полной маскировки еще не проявлялся, время реакции статистически значимо ($p = 0,83$) не изменилось ($140 \pm 1,2$) мс.

В условиях развития обратной световой маскировки разной степени выраженности значение вычисленного показателя «время обнаружения стимула» оставалось на неизменном уровне. Так, при полной (100%) ОСМ и длительности SOA-интервала (0–40 мс) величина sDT для модели «Red—Blue» колебалась в пределах 140–142 мс, а в случае «Green—Blue» — в диапазоне 141–45 мс, т. е. статистически значимо не различалась ($p < 0,05$). Аналогичная закономерность имела место и в условиях угасания обратной световой маскировки вплоть до ее полного исчезновения (табл.). Сделанный вывод подтверждается также результатами дисперсионного анализа (двухвыборочный F-тест для дисперсий): во всех случаях вариационные ряды характеризовались статистически равными дисперсиями.

Таким образом, анализ результатов эксперимента свидетельствует, что время обнаружения стимула при выполнении ПЗМР при обратной маскировке вспышкой света не зависит ни от эффективности ОСМ, ни от цвета тестового стимула, ни от величины асинхронии включения стимулов, ни от длительности стимула-маскера, а инициация сенсомоторной реакции не нуждается в осознании светового ощущения.

Обсуждение результатов

Анализ результатов исследований показал, что модель двухцветной ОСМ может быть использована для анализа закономерностей сопряжения процессов формирования ощущение



Таблица

Значение параметра «время обнаружения стимула – sDT» простой зрительно-моторной реакции ($M \pm m$) при разных значениях параметров стимуляции в условиях обратной световой маскировки двухцветной модели

Параметры стимуляции (ТС–МС–SOA), мс	Условия эксперимента (цвет тестового стимула и стимула-маскера)					
	«Red–Blue»		«Green–Blue»		«Red/Green–Blue»	
	Среднее и ошибка	Показатель степени полной маскировки, (%)	Среднее и ошибка	Показатель степени полной маскировки, (%)	Среднее и ошибка	Показатель степени полной маскировки, %
0,1–нет–нет	141±1,1	-	142±1,2	-	143±1,5	-
0,1–0,1–0	140±1,2	0	140±1,3	0	142±1,4	0
0,1–45–0	142±1,5	100	141±1,2	100	144±1,6	100
0,1–45–5	140±1,4	100	142±1,5	100	144±1,6	100
0,1–45–10	141±1,2	100	143±1,4	100	143±1,6	100
0,1–45–15	142±1,3	100	143±1,3	100	145±1,4	100
0,1–45–20	140±1,6	100	144±1,4	100	143±1,5	100
0,1–45–25	141±1,2	100	142±1,5	100	145±1,6	100
0,1–45–30	142±1,5	68,6±4,0	145±1,6	65,9±7,6	144±1,7	77,5±4,5
0,1–45–35	140±1,4	12,4±3,8	144±1,4	14,1±5,3	145±1,7	20,1±5,8
0,1–45–40	142±1,6	0	143±1,6	0	144±1,8	0

Примечание: ТС – тестовый стимул (Red – красный, Green – зеленый); МС – маскер-стимул (Blue, синий); SOA – асинхрония включения стимулов (stimulus onset asynchrony).

ния и реализации сенсомоторных реакций. Следует отметить, что эффект ОСМ преимущественно изучался на ее метаконтрастной модели [11, 17, 21, 22, 23, 25]. По нашим данным, эффект полной (100%) двухцветной ОСМ надежно реализуется при следующих ее параметрах: длительность тестового стимула (красный и зеленый цвета) 0,1 мс, стимула-маскера (синий) 45 мс и SOA 0–25 мс; в диапазоне значений SOA от 25 до 35 мс эффективность ОСМ, т. е. число случаев полной маскировки, снижается до 14%, а при SOA 40 мс эффект полной маскировки полностью исчезает.

Важным параметром ОСМ является «критическое время асинхронии включения стимулов, $SOA_{крит}$ ». Этот показатель отражает длительность периода абсолютной уязвимости процесса формирования осознанного ощущения (в нашем случае ощущения красного и зеленого цвета). В пределах $SOA_{крит}$ следующий за тестовым стимулом маскер другого цвета (синего) блокирует указанный перцептивный процесс. В наших исследованиях $SOA_{крит}$ составил 25 мс, хотя для некоторой части испытуемых, например, при модели «Red–Blue» он растягивался до 30 мс (68,6±4,0 %) и даже до 35 мс (12,4±3,8%). В работах с применением черно-белой метаконтрастной маскировки абсолютное значение указанного параметра полной ОСМ определяется в диапазоне от 75 мс [21] до 100 мс и более [2, 6]. Существенные (кратные) различия по сравнению с нашими результатами (25 мс) связаны, как мы полагаем, с использованием разнотипных моделей ОСМ и обусловлены, по крайней мере, двумя обстоятельствами. Во-первых, при метаконтрастной маскировке фотостимуляции подвергаются топографически разобщенные участки сетчатки, тогда как в наших исследованиях ТС и МС предъявлялись в одну и ту же ее область. Во-вторых, принципиально различа-



лись и хроматические параметры моделей. Так, в случае монохромной метаконтрастной маскировки стимуляции подвергаются преимущественно одни и те же пулы хроматически однотипных фоторецепторов, еще не способных в течение определенного времени после реакции на тестовый стимул к повторному возбуждению. В результате $SOA_{крит}$ удлиняется минимум на значение длительности периода рефрактерности фоторецепторов. При двухцветной модели ОСМ импульсами света с несовпадающей длиной волны, как в нашем случае, последовательно стимулируются преимущественно хроматически разноименные пулы фоторецепторов, что исключает влияние данного фактора (абсолютной рефрактерности) на общее время $SOA_{крит}$. Возможны и другие механизмы удлинения $SOA_{крит}$ включения стимулов в условиях монохромной ОСМ.

Таким образом, определенное в наших исследованиях значение $SOA_{крит}$ в модели двухцветной ОСМ указывает на относительно короткую (25 мс) продолжительность фазы абсолютной уязвимости процесса формирования осознанного ощущения (предсознательной компоненты ощущения).

Что же касается механизмов процесса прерывания цепочки формирования ощущения при обратной маскировке, то данная проблема имеет самостоятельный интерес и требует отдельных исследований фундаментального порядка. Тем не менее, следует отметить, что на этот счет существует более десятка различных теорий [10, 16, 22, 27]. В настоящее время список теорий и гипотез маскировки еще более расширился за счет экспериментального использования новейших методологических и методических подходов, в том числе транскраниальной магнитной стимуляции и других высокоинформативных методик [26, 27, 28], включая построение математических моделей маскировки [22].

Центральной задачей нашей работы явилось измерение значения времени обнаружения хроматически разнородных сверхкоротких (0,1 мс) стимулов (sDT) в условиях блокады процесса формирования сенсорного ощущения в парадигме полной ОСМ. Результаты показали, что параметр sDT не зависит от эффективности ОСМ (от 0 до 100%), цвета тестового стимула («Red» или «Green», 0,1 мс), величины асинхронии в диапазоне (0–40 мс), длительности стимула-маскера («Blue», от 0,1 до 45 мс), а также не нуждается в формировании осознанного светового ощущения. Представляют интерес результаты сравнительного анализа времени обнаружения стимула в условиях без использования ОСМ и при ее полном проявлении. По нашим данным, абсолютное значение показателя sDT при полной ОСМ (например, при алгоритме «Red–Blue») составляло 140–142 мс (табл.), а при ее отсутствии 140 мс, т. е. не изменялось. Следовательно, «Fehrer–Raab-effect» проявляется не только в парадигме черно-белой метаконтрастной ОСМ, но в полной мере сохраняется и при двухцветной маскировке для сверхкоротких хроматически разнородных тестовых стимулов.

Феномен независимости запуска и выполнения ПЗМР от цвета стимулов и процесса формирования осознанного светового ощущения предполагает существование двух автономных путей ее реализации. Во-первых, механизм ОСМ при ее двухцветной модели не связан с периферическим звеном зрительного анализатора. Такое предположение имеет право на существование, если доказать, что информационный поток, рожденный тестовым стимулом, успеваеет покинуть рецепторно-сетчатый аппарат зрительного анализатора еще до момента предъявления испытуемому стимула-маскера. Разумеется, что наилучшим вариантом было бы проведение прямой регистрации потенциалов действия, например, в зрительном нерве. Однако существуют и другого рода возможности. Первая из них основана на результатах измерения латентности вызванных зрительных потенциалов в первичной зрительной коре



головного мозга при фотостимуляции. Известно, что латентность первых волн на электроэнцефалограмме (P1 и N1) нередко находится в пределах 30–50 мс. В известной схеме «кольца А.М. Иваницкого» [3] появление вызванного потенциала в первичной зрительной коре относится к 30 мс. Подчеркнем, что в наших исследованиях в эксперименте № 3, наряду с другими вариантами, время между предъявлением ТС и МС устанавливалось на уровне 30 мс, т. е. на временном отрезке, достаточном для физического поступления информационного потока от тестового стимула с периферического звена анализатора до его центральных отделов. Понятно, что в таких условиях стимул-маскер, предъявляемый, в частности, через 30 мс после ТС, не может инициировать запуск механизма обратной маскировки, которую при использованных параметрах ОСМ мы всегда наблюдали. Такого рода данные не подтверждают периферическую природу ОСМ. В качестве второго, хотя и косвенного доказательства тезиса, опровергающего периферическую природу механизма ОСМ, можно привести одну из записей ЭМГ-ответа, произведенной в условиях полной обратной маскировки (ТС = 0,1 мс, МС = 45 мс и SOA = 30 мс) при вычисленном значении sDT = 119 мс (рис. 1). Результаты анализа показывают, что если бы запуск ПЗМР осуществлялся в ответ на предъявление МС, то гипотетически латентный период реакции (sDT) составил бы 89 мс, однако таких показателей времени получено не было: при всех вариантах опытов эмпирическое значение sDT колебалось в пределах 118–150 мс при средней величине 141 мс. Кроме того, согласно литературным данным [9, 29], корректно измеренное время ПЗМР всегда превышает 120 мс. Следовательно, ПЗМР в наших экспериментах в условиях полной ОСМ инициировалась не маскером, а тестовым стимулом, что возможно лишь при условии опережающего «выхода» потока нервных импульсов из рецепторно-сетчатого аппарата. В связи с этим можно полагать, что структурно-функциональной областью, на которую направлено действие механизма ОСМ использованной двухцветной модели, является не периферическое звено зрительного анализатора, а его центральные отделы.

Во-вторых, факт запуска и выполнения ПЗМР вне зависимости от формирования соответствующего ощущения свидетельствует о том, что механизм реализации ПЗМР и механизм формирования ощущения разобщены как во времени проявления, так, скорее всего, и в отношении структур мозга, на которых их действие распространяется. Можно полагать, что, с одной стороны, существует укороченный отдельный скоростной тракт для реализации ПЗМР, используемый для простого обнаружения светового сигнала как такового без идентификации его характеристик (цвета и интенсивности) и необходимости осознания, а с другой стороны — путь, предполагающий, в конечном итоге, формирование осознанного светового ощущения. Оба механизма в нативных условиях функционируют параллельно, но с разной латентностью, а в условиях ОСМ скоростной механизм простого обнаружения сигнала функционирует сугубо изолированно, не предполагая непременно формирования осознанного ощущения.

Бессознательная реакция на тестовый стимул предполагает участие отдельной функциональной системы, обеспечивающей реализацию всего комплекса зрительно-моторного ответа. Мы полагаем, что такая функциональная система, вернее ее шаблон, хранится в сенсорной памяти и сформирована ранее на основании предшествующего индивидуального эмпирического опыта. В ходе словесной установки экспериментатора в виде описания алгоритма поведенческой реакции испытуемого такого рода функциональная система корректируется в соответствии с новыми условиями ее выполнения, несколько раз (5–10) апробируется в процессе начального цикла обучения, закрепляясь в оперативной памяти,



переходит в режим активного ожидания, а в случае предъявления светового стимула запускается по принципу триггера. Однако обсуждаемый аспект проблемы нейрофункциональной организации «Ферер—Рааб-феномена» в условиях ОСМ является отдельной задачей и требует фундаментальных исследований нейрофизиологического характера [4, 6, 10, 14].

Выводы

1. Модель обратной маскировки вспышкой света в ее двухцветной модификации (ОСМ) применима при исследовании механизмов сопряжения процессов формирования ощущения и реализации сенсомоторных реакций. Эффект полной (100%) двухцветной ОСМ надежно реализуется при следующих значениях ее параметров: длительность тестового стимула (красный и зеленый цвета) — 0,1 мс, длительность стимула-маскера (синий) — 45 мс, диапазон асинхронии включения стимулов (SOA) 0 — 25 мс. В диапазоне значений SOA от 25 до 35 мс степень проявления полной ОСМ снижается до 12—14%, а при SOA, равном 40 мс, полностью исчезает. Вычисленное критическое значение SOA (25 мс) в модели двухцветной ОСМ указывает на относительно короткую длительность фазы абсолютной уязвимости процесса формирования осознанного ощущения в центральных структурах зрительного анализатора на стадии консолидации следов светового стимула.

2. Время обнаружения стимула (sDT) в составе простой зрительно-моторной реакции в парадигме модели двухцветной обратной световой маскировки не зависит от ее эффективности (от 0 до 100%), цвета тестового стимула («Red» или «Green», 0,1 мс), величины асинхронии в диапазоне (0—40 мс), длительности стимула-маскера («Blue», от 0,1 до 45 мс), а также не нуждается в формировании осознанного светового ощущения.

3. Простая зрительно-моторная реакция в парадигме двухцветной обратной световой маскировки всегда инициируется первым, тестовым стимулом (0,1 мс), а ее запуск осуществляется вне связи с формированием осознанного светового ощущения. Сравнительный анализ значений sDT в условиях полной (100%) ОСМ и при ее отсутствии позволяет предполагать, что механизм обратной световой маскировки при ее двухцветной модели не связан с периферическим рецепторным звеном зрительного анализатора, а реализуется, следовательно, в его центральных отделах.

Литература

1. Барабаничиков В.А. Онтологическая парадигма исследований восприятия // Психологический журнал. 2009. Т. 30. № 5. С. 81—95.
2. Бахманн Т. Психофизиология зрительной маскировки. Тарту, 1989. 400 с.
3. Иваницкий А.М. Мозговая основа субъективных переживаний: гипотеза информационного синтеза [Электронный ресурс] // Журнал высшей нервной деятельности. 1996. Т. 46. № 2. С. 241—252. <http://aha.ru/~geivanit/SUBJ.html>
4. Иваницкий А.М. Наука о мозге на пути к решению проблемы сознания // Вестник РАН. 2010. Т. 80. № 5, 6. С. 447—455.
5. Иваницкий А.М. Нисходящие влияния от психологического уровня на физиологический могут быть основой свободной воли [Электронный ресурс] // Журнал высшей нервной деятельности. 2017. Т. 67. № 6. С. 778—729. <https://doi.org/10.7868/S0044467717060053>
6. Костандов Э.А. Психофизиология сознания и бессознательного. СПб.: Питер, 2014. 167 с.
7. Сергин В.Я. Авто-отождествление паттернов нейронной активности как физиологический механизм осознания [Электронный ресурс] // Журнал высшей нервной деятельности. 2016. Т. 66. № 3. С. 259—278. <http://dx.doi.org/10.7868/S0044467716020076>
8. Сергин В.Я., Ябанжи Г.Г. Системная организация восприятия // Вестник ДВО РАН. 2004. № 3. С. 127—138.



9. Соболев В.И. Характеристика простых психомоторных реакций при чередующейся разномодальной сенсорной стимуляции (электромиографическое исследование) // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология. Химия. 2019. Т. 5 (71). № 1. С. 126–138.
10. Aaldereen-Smeets S.I., Oostenveld R., Schwarzbach J. Investigating neurophysiological correlates of metacontrast masking with magnetoencephalography [Электронный ресурс] // *Advances in Cognitive Psychology*. 2006. № 2. P. 21–35. <http://www.ac-psych.org/en/issues/volume/2/issue/1>
11. Ansorge U., Neumann O. Intentions determine the effect of invisible metacontrast-masked primes: Evidence for top-down contingencies in a peripheral cueing task // *J. Exp. Psychol. Hum. Percept. Perform.* 2005. Vol. 31. № 4. P. 762–777.
12. Baars B. *Cognitive theory of consciousness*. New York: Cambridge University Press, 1993. 424 p.
13. Bachmann T. Metacontrast masking of target-area internal contours and target overall surface brightness: the case of mutually coherent and incoherent visual objects [Электронный ресурс] // *Spatial Vision*. 2009. Vol. 22. № 2. P. 127–146. <http://dx.doi.org/10.1163/156856809787465645>
14. Bachmann T., Rutiku R. Electroencephalographic markers of conscious and unconscious perception [Электронный ресурс] // *Consciousness and Cognition*. 2017, September. Vol. 54. P. 1–2. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2017.06.016>
15. Block Ned. Consciousness, accessibility, and the mesh between psychology and neuroscience [Электронный ресурс] // *Behavioral and Brain Sciences*. 2007. Vol. 30. № 5–6. P. 481–499. <https://doi.org/10.1017/S0140525X07002786>
16. Breitmeyer B.G., Ogmen H. Recent models and findings in visual backward masking: A comparison, review, and update // *Perception and Psychophysics*. 2000. Vol. 62. № 8. P. 1572–1595.
17. Bruchmann M., Breitmeyer B.G., Pantev C. Metacontrast masking within and between visual channels: Effects of orientation and spatial frequency contrasts [Электронный ресурс] // *Journ. of Vision*. 2010. Vol. 10. № 12. P. 1–14. <http://www.journalofvision.org/content/10/6/12>
18. Clark A.A. *Theory of Sentience*. Oxford: Oxford University Press, 2000. 150 p.
19. Crick Francis. *The Astonishing Hypothesis: The Scientific Search for the Soul*. New York: Charles Scribner's Sons. 1994. 317 p.
20. Edelman G.M., Tononi G.A. *Universe of Consciousness*. [Электронный ресурс] N.Y.: Basic Books, 2000. 274 p. <https://doi.org/10.1023/A:1024146021837>
21. Fehrer E., Raab D. Reaction time to stimuli masked by metacontrast [Электронный ресурс] // *Journal of Experimental Psychology*. 1962. Vol. 63. № 2. P. 143–147. <https://psycnet.apa.org/doi/10.1037/h0040795>
22. Francis G. Quantitative Theories of Metacontrast Masking [Электронный ресурс] // *Psychological Review*. 2000. Vol. 107. № 4. P. 768–685. <https://psycnet.apa.org/doi/10.1037/0033-295X.107.4.768>
23. Haase S.J., Fisk G.D. Awareness of “Invisible” Arrows in a Metacontrast Masking Paradigm [Электронный ресурс] // *American Journal of Psychology*. 2015. Vol. 128. № 1. P. 15–30. <http://dx.doi.org/10.5406/amerjpsyc.128.1.0015>
24. Jeffreys D.A., Musselwhite M.J. A visual evoked potential study of metacontrast masking // *Vision Research*. 1986. Vol. 26. P. 631–642.
25. Klotz W., Neumann O. Motor activation without conscious discrimination in metacontrast masking [Электронный ресурс] // *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*. 1999. Vol. 25. № 2. P. 976–992. <http://psycnet.apa.org/doi/10.1037/0096-1523.25.4.976>
26. Koivisto M. Two means of suppressing visual awareness: A direct comparison of visual masking and transcranial magnetic stimulation [Электронный ресурс] // *Cortex*. 2012. Vol. 48. № 3. P. 333–343. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2010.12.001>
27. Railo Henry, Koivisto Mika. The electrophysiological correlates of stimulus visibility and metacontrast masking [Электронный ресурс] // *Consciousness and Cognition*. 2009. Vol. 18. № 3. P. 794–803. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2009.01.006>
28. Tulviste J., Goldberg E., Podell K., Bachmann T. Effects of repetitive transcranial magnetic stimulation on non-veridical decision making // *Acta. Neurobiol. Exp. (Wars)*. 2016. Vol. 76. № 3. P.182–191.
29. Woods D.L., Wyma J.M., Yund E.W., Herron T.J., Reed B. Factors influencing the latency of simple reaction time [Электронный ресурс] // *Front. Hum. Neurosci.* 2015. Vol. 9. 26 March, Article 131. P. 1–12. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2015.00131>



References

1. Barabanshchikov V. A. Ontologicheskaja paradigma issledovanii vospriiatii [Ontological paradigm in perception study]. *Psikhologicheskii zhurnal [Psychological Journal]*, 2009. vol. 30, no. 5, pp. 81–95. (In Russ.; abstr. in Engl.).
2. Bachmann Talis. *Psychophysiology of visual masking*, Tartu, 1989. 400 p. (In Russ.).
3. Ivanickij A.M. Mozgovaya osnova sub”ektivnyh perezhivaniij: gipoteza informacionnogo sinteza [Brain basis of subjective experience: information synthesis hypothesis] *Zhurnal vysshej nervnoj deyatel’nosti [I.P. Pavlov Journal of Higher Nervous Activity]*, 1996, no 2, pp. 241–252. <http://aha.ru/~geivanit/SUBJ.html> (In Russ.; abstr. in Engl.).
4. Ivanitskij A.M. Nauka o mozge na puti k resheniyu problemy soznaniya. *Vestnik RAN*, 2010, vol. 80, no. 5–6, pp. 447–455. (In Russ.).
5. Ivanitsky A.M. The Descending Influences from Mental to Physiological Level as a Possible Base for Free Will Mechanism. *I.P. Pavlov Journal of Higher Nervous Activity*, 2017, vol. 67, no. 6, pp. 778–729. <https://doi.org/10.7868/S0044467717060053> (In Russ.).
6. Kostandov E.A. *Psikhofiziologiya soznaniya i bessoznatel’nogo*. SPb. : Piter, 2014. 167 p. (In Russ.).
7. Sergin V.YA. Avto-otozhdestvlenie patternov neyronnoj aktivnosti kak fiziologicheskij mekhanizm osoznaniya [Auto-Identification of Neuronal Activity Patterns as a Physiological Mechanism of Awareness] *Zhurnal vysshej nervnoj deyatel’nosti [I.P. Pavlov Journal of Higher Nervous Activity]*, 2016, no 3, pp. 259–278. <http://dx.doi.org/10.7868/S0044467716020076> (In Russ.; abstr. in Engl.).
8. Sergin V. Ya., Iabangi G.G. The systemic organization of perception // *Vestnik of the Far East Branch of the Russian Academy of Sciences*, 2004, no. 3, pp. 127–138. (In Russ.).
9. Sobolev V.I. Harakteristika prostyh psihomotornyh reakcij pri chereduyushchejsya raznomodal’noj sensornoj stimulyacii (elektromiograficheskoe issledovanie) [Features of Simple Psycho-motor Reactions during Multimodal Stimulation (electromyographic study)] *Uchenye zapiski Krymskogo federal’nogo universiteta imeni V. I. Vernadskogo. Biologiya. Himiya [Scientific Notes of V.I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry]*, 2019, vol. 5 (71), no. 1, pp. 126–138. (In Russ.; abstr. in Engl.).
10. Aalderen-Smeets S.I., Oostenveld R., Schwarzbach J. Investigating neurophysiological correlates of metacontrast masking with magnetoencephalography. *Advances in Cognitive Psychology*, 2006, no. 2, pp. 21–35. <http://www.ac-psych.org/en/issues/volume/2/issue/1>
11. Ansorge U., Neumann O. Intentions determine the effect of invisible metacontrast-masked primes: Evidence for top-down contingencies in a peripheral cueing task. *J. Exp. Psychol. Hum. Percept. Perform.*, 2005, vol. 31, no. 4, pp. 762–777.
12. Baars B. *Cognitive theory of consciousness*. New York: Cambridge University Press, 1993. 424 p.
13. Bachmann T. Metacontrast masking of target-area internal contours and target overall surface brightness: the case of mutually coherent and incoherent visual objects. *Spatial Vision*, 2009, vol. 22, no. 2, pp. 127–146. <http://dx.doi.org/10.1163/156856809787465645>
14. Bachmann T., Rutiku R. Electroencephalographic markers of conscious and unconscious perception. *Consciousness and Cognition*, 2017, September, vol. 54, pp. 1–2. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2017.06.016>
15. Block Ned. Consciousness, accessibility, and the mesh between psychology and neuroscience. *Behavioral and Brain Sciences*, 2007, vol. 30, no. 5–6, pp. 481–499. <https://doi.org/10.1017/S0140525X07002786>
16. Breitmeyer B.G., Ogmen H. Recent models and findings in visual backward masking: A comparison, review, and update. *Perception and Psychophysics*, 2000, vol. 62, no. 8, pp. 1572–1595.
17. Bruchmann M., Breitmeyer B.G, Pantev C. Metacontrast masking within and between visual channels: Effects of orientation and spatial frequency contrasts. *Journ. of Vision*, 2010, vol. 10, no. 12, pp. 1–14. <http://www.journalofvision.org/content/10/6/12>
18. Clark A. A. *Theory of Sentience*. Oxford: Oxford University Press, 2000. 150 p.
19. Crick Francis. *The Astonishing Hypothesis: The Scientific Search for the Soul*. New York: Charles Scribner’s Sons, 1994. 317 p.
20. Edelman G.M., Tononi G.A. *Universe of Consciousness*. N. Y.: Basic Books, 2000, 274 p. <https://doi.org/10.1023/A:1024146021837>
21. Fehrer E., Raab D. Reaction time to stimuli masked by metacontrast. *Journal of Experimental Psychology*, 1962, vol. 63, no. 2, pp. 143–147. <https://psycnet.apa.org/doi/10.1037/h0040795>



22. Francis G. Quantitative Theories of Metacontrast Masking. *Psychological Review*, 2000, vol. 107, no. 4, pp. 768–685. <https://psycnet.apa.org/doi/10.1037/0033-295X.107.4.768>
23. Haase S.J., Fisk G.D. Awareness of “Invisible” Arrows in a Metacontrast Masking Paradigm. *American Journal of Psychology*, 2015, vol. 128, no. 1, pp. 15–30. <http://dx.doi.org/10.5406/amerjpsyc.128.1.0015>
24. Jeffreys D. A., Musselwhite M. J. A visual evoked potential study of metacontrast masking. *Vision Research*, 1986, vol. 26, pp. 631–642.
25. Klotz W., Neumann O. Motor activation without conscious discrimination in metacontrast masking. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 1999, vol. 25, no. 2, pp. 976–992. <http://psycnet.apa.org/doi/10.1037/0096-1523.25.4.976>
26. Koivisto M. Two means of suppressing visual awareness: A direct comparison of visual masking and transcranial magnetic stimulation. *Cortex*, 2012, vol. 48, no. 3, pp. 333–343. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2010.12.001>
27. Railo Henry, Koivisto Mika. The electrophysiological correlates of stimulus visibility and metacontrast masking. *Consciousness and Cognition*, 2009, vol. 18, no. 3, pp. 794–803. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2009.01.006>
28. Tulviste J., Goldberg E., Podell K., Bachmann T. Effects of repetitive transcranial magnetic stimulation on non-veridical decision making // *Acta. Neurobiol. Exp. (Wars)*. 2016. Vol. 76. № 3. P.182–191.
29. Woods David L., Wyma John M., Yund E. William, Herron Timothy J., Reed B. Factors influencing the latency of simple reaction time. *Front. Hum. Neurosci.*, 2015, 26 March, Article 131. pp. 1–12. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2015.00131>

Информация об авторах

Соболев Валерий Иванович, доктор биологических наук, профессор кафедры здоровья и реабилитации, Гуманитарно-педагогическая академия (филиал) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского» в г. Ялте, г. Ялта, Российская Федерация, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9318-5224>, e-mail: v.sobolev@mail.ru

Information about the authors

Valeryi I. Sobolev, Doctor of Biological Sciences (Physiology), Professor, Academy of the Humanities and Pedagogics (branch) of V.I. Vernadsky Crimean Federal University in Yalta, Yalta, Russia, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9318-5224>, e-mail: v.sobolev@mail.ru

Получена 17.04.2019

Received 17.04.2019

Принята в печать 20.04.2020

Accepted 20.04.2020