

## ФИЗИОЛОГИЯ ВЫСШЕЙ НЕРВНОЙ (КОГНИТИВНОЙ) ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА

УДК 612.821+159.91

### БАЗОВАЯ И СУПЕРОРДИНАТНАЯ КАТЕГОРИЗАЦИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ. ВЛИЯНИЕ СТЕПЕНИ КОНГРУЭНТНОСТИ И ВРЕМЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРЕДЪЯВЛЕНИЯ ПРЕДШЕСТВУЮЩЕГО СТИМУЛА

© 2023 г. Н. Ю. Герасименко<sup>1</sup>, \*, А. Б. Кушнир<sup>1</sup>, Е. С. Михайлова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБУН Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии Российской академии наук, Москва, Россия

\*e-mail: nataliagerasimenko@gmail.com

Поступила в редакцию 21.04.2023 г.

После доработки 24.05.2023 г.

Принята к публикации 03.07.2023 г.

На здоровых молодых испытуемых с использованием модели прямой маскировки исследовали влияние временных характеристик предъявления маски на выполнение базовой и суперординатной категоризации (БК и СК) изображений предметов. Маска могла быть конгруэнтной, неконгруэнтной или семантически нейтральной по отношению к значимому изображению. В первой серии анализировали влияние асинхронности начала предъявления стимулов (АНС, интервала времени между началом предъявления маски и стимула), которая изменялась от 100 до 350 мс с шагом 50 мс при постоянной длительности маски 100 мс. Во второй анализировали влияние длительности маски, которая увеличивалась от 100 до 250 мс с шагом 50 мс при постоянной АНС 250 мс. Показано, что СК происходила быстрее, чем БК. Предположительно это связано с участием в СК низкочастотной составляющей описания стимула, быстро передающейся по магноцеллюлярному зрительному пути. БК по сравнению с СК более чувствительна к временным характеристикам маски и ее категориальной принадлежности. При этом изменение АНС оказывало большее влияние на время реакции, чем длительность маски. Если исходить из предположения, что изменения АНС влияют на ранний перцептивный этап переработки стимула, то его чувствительность к незначимой информации проявляется в более отчетливой зависимости БК от АНС по сравнению с СК.

**Ключевые слова:** человек, зрение, категоризация, прямая маскировка, прайминг, асинхронность начала стимула, длительность

DOI: 10.31857/S0044467723050040, EDN: EUQNIW

#### ВВЕДЕНИЕ

Одной из основ мыслительной деятельности человека является способность относить бесконечное множество окружающих нас объектов к отдельным категориям (Codispoti et al., 2006; Rabi et al., 2018). Если бы мы не обладали этой способностью, мы не смогли бы действовать ни в физическом мире, ни в нашей интеллектуальной жизни (Лакофф, 2004).

Категории образуют иерархическую структуру, внутри которой каждый объект относится к нескольким категориям разного уровня. Например, один и тот же предмет на базовом уровне будет относиться к категории “стол”, на суперординатном — “мебель”, а на

субординатном он будет категоризоваться как “письменный стол” (Fabre-Thorpe, 2011).

Вопрос о механизмах категоризации изображений на разных уровнях остается пока открытым. Согласно первоначальной гипотезе, выдвинутой Элеонорой Рош, любой объект окружающего мира первоначально относится к базовой категории, и лишь потом может категоризоваться на других уровнях, поэтому базовый уровень был обозначен как “уровень ввода” (Rosch et al., 1976). Однако не для всех категорий изображений уровнем ввода служит базовый. Нетипичные представители базовых категорий могут первоначально категоризоваться на субординатном уровне. Например, такие нетипичные представители базовой категории “птицы”, как павлины, совы и утки,

первоначально относят к этим субординатным категориям и только потом категоризируются на базовом уровне (Potter, Hagmann, 2015). Встречается и другая ситуация: при коротких длительностях предъявления стимул быстрее относят к суперординатной категории, чем к базовой (Vanmarcke et al., 2016; Wu et al., 2015).

Предполагается, что главную роль в категоризации изображений играют репрезентации образов в нижневисочной коре (Grill-Spector, Weiner, 2014). Они формируют вложенную друг в друга пространственную иерархию, в которой базовые репрезентации оказываются составной частью более крупных суперординатных репрезентаций (Rajalingham, DiCarlo, 2019; Margalit et al., 2020). Данные большинства исследований указывают на то, что при одновременной активации репрезентации изображений различных категорий могут взаимодействовать друг с другом (Cohen et al., 2014, 2017). Например, в работе Cohen и соавторов показано, что испытуемые лучше замечали смену изображения в наборе, если одновременно предъявляемые стимулы принадлежали к двум разным категориям, а не к одной. Анализ данных фМРТ показал, что поведенческое улучшение было более выраженным, когда отмечались отчетливые различия в активации затылочно-височной коры при опознании каждой из двух категорий по отдельности (Cohen et al., 2014).

Для изучения процесса категоризации изображений на разных уровнях можно использовать метод прямой маскировки, при котором испытуемому последовательно предъявляют два изображения — незначимый дистрактор (маску) и значимый стимул. Подобные исследования были предприняты как нами (Герасименко и др., 2019), так и другими авторами (Poncet et al., 2020). В нашем предыдущем исследовании показано, что при базовой категоризации семантически близкое маскирующее изображение вызывало ухудшение опознания стимула. При опознании на суперординатном уровне, напротив, наблюдали облегчение опознания целевого изображения в случае конгруэнтной пары маска-стимул (Герасименко и др., 2019). В работе Poncet и соавторов изучали влияние не только уровня категоризации и степени категориальной близости дистрактора и стимула, но и асинхронности начала стимулов (АНС, SOA — stimulus onset asynchrony — величина интервала между началом предъявления дистрактора и целевого изображения), которая со-

ставляла или 80, или 180 мс (Poncet et al., 2020). Улучшение опознания при базовой категоризации зависело как от степени семантической близости прайма и стимула, так и от временных параметров их предъявления. Конгруэнтный прайм (птица при опознании изображения другой птицы) вызывал облегчение опознания при обеих использованных в работе длительностях АНС (Poncet et al., 2020). По-другому действовало неконгруэнтное семантически близкое изображение: при меньшей АНС (80 мс) оно облегчало базовую категоризацию целевых изображений, при большей (180 мс), наоборот, приводило к ухудшению по сравнению с семантически далеким праймом (изображением транспорта) (Poncet et al., 2020). Последний результат совпадает с нашими данными об ухудшении базовой категоризации при использовании семантически близкой маски (Герасименко и др., 2019). При суперординатной категоризации конгруэнтный прайм убыстрял опознание значимого изображения, это облегчение было более выражено при большей величине АНС (Poncet et al., 2020). Похожие результаты были получены при использовании экспериментальной модели совмещения изображения и слова (picture-word interference) (Hantsch et al., 2012; Roelofs, Piai, 2017). При категоризации изображения на базовом уровне семантически близкий дистрактор (например, слово “собака” для изображения кошки) вызывал увеличение времени реакции (ВР) опознания. При суперординатной категоризации семантически близкий дистрактор, напротив, уменьшал ВР (Hantsch et al., 2012; Roelofs, Piai, 2017).

Таким образом, в большинстве современных работ, посвященных изучению категоризации изображений, анализировали влияние категориальной принадлежности дистрактора и стимула. Работы, в которых бы исследовали влияние временных параметров предъявления предшествующего незначимого изображения на опознание целевого стимула, немногочисленны. В паре “дистрактор — целевой стимул” можно варьировать два временных параметра: длительность дистрактора и асинхронность начала стимулов (АНС). Возникает вопрос, на какие этапы переработки целевого изображения могут повлиять два этих параметра. В работе Eddy и Holcomb при использовании парадигмы прайминга повторением сравнивали влияние длительности прайма и АНС на амплитудно-временные характеристики ком-

понентов зрительных вызванных потенциалов (ВП) (Eddy, Holcomb, 2010). Показано, что величина АНС влияет только на амплитуду среднелатентных компонентов зрительных ВП на целевой стимул, в то время как длительность предъявления прайма действовала как на среднелатентные, так и на поздние компоненты. Авторы предположили, что изменение длительности АНС в большей степени влияло на перцептивный этап переработки зрительной информации (Eddy, Holcomb, 2010), что может быть связано с тем, что даже кратковременная демонстрация изображения приводит к активации соответствующих репрезентаций в нижневисочной коре, и эта активация сохраняется как минимум в течение 300 мс (Rolls, Tovee, 1994). Увеличение же длительности прайма приводило к более глубокой его переработке и влияло на более поздний семантический компонент N400 (Eddy, Holcomb, 2010). Влияние глубины переработки первого незначимого стимула было проанализировано Jiang и соавторами при использовании в качестве незначимых изображений фотографий лиц людей, а в качестве целевых стимулов — слов, обозначающих людей женского или мужского пола (Jiang et al., 2016). Предшествующее изображение могло быть конгруэнтно слову (например, женское лицо и слово “мать”), а могло быть неконгруэнтно (мужское лицо и слово “сестра”). При небольшой длительности незначимого изображения и АНС 50 мс наблюдался эффект негативного прайминга: слово-стимул опознавалось хуже, если ему предшествовало конгруэнтное изображение (Jiang et al., 2016). Увеличение длительности дистрактора и АНС до 250 мс приводило к возникновению эффекта положительного прайминга, который полностью исчезал при 500 мс (Jiang et al., 2016). В наших предшествующих работах при небольшой длительности предъявления первого маскирующего изображения мы также наблюдали ухудшение опознавания стимула для конгруэнтной пары маска-стимул (например, маска-животное и стимул-животное) (Калинин и др., 2014; Герасименко и др., 2019).

Цель настоящего исследования — изучить влияние временных параметров предъявления предшествующего незначимого изображения на категоризацию изображений на базовом и суперординатном уровнях. Для этого были проведены две экспериментальные серии. В первой варьировалась величина АНС

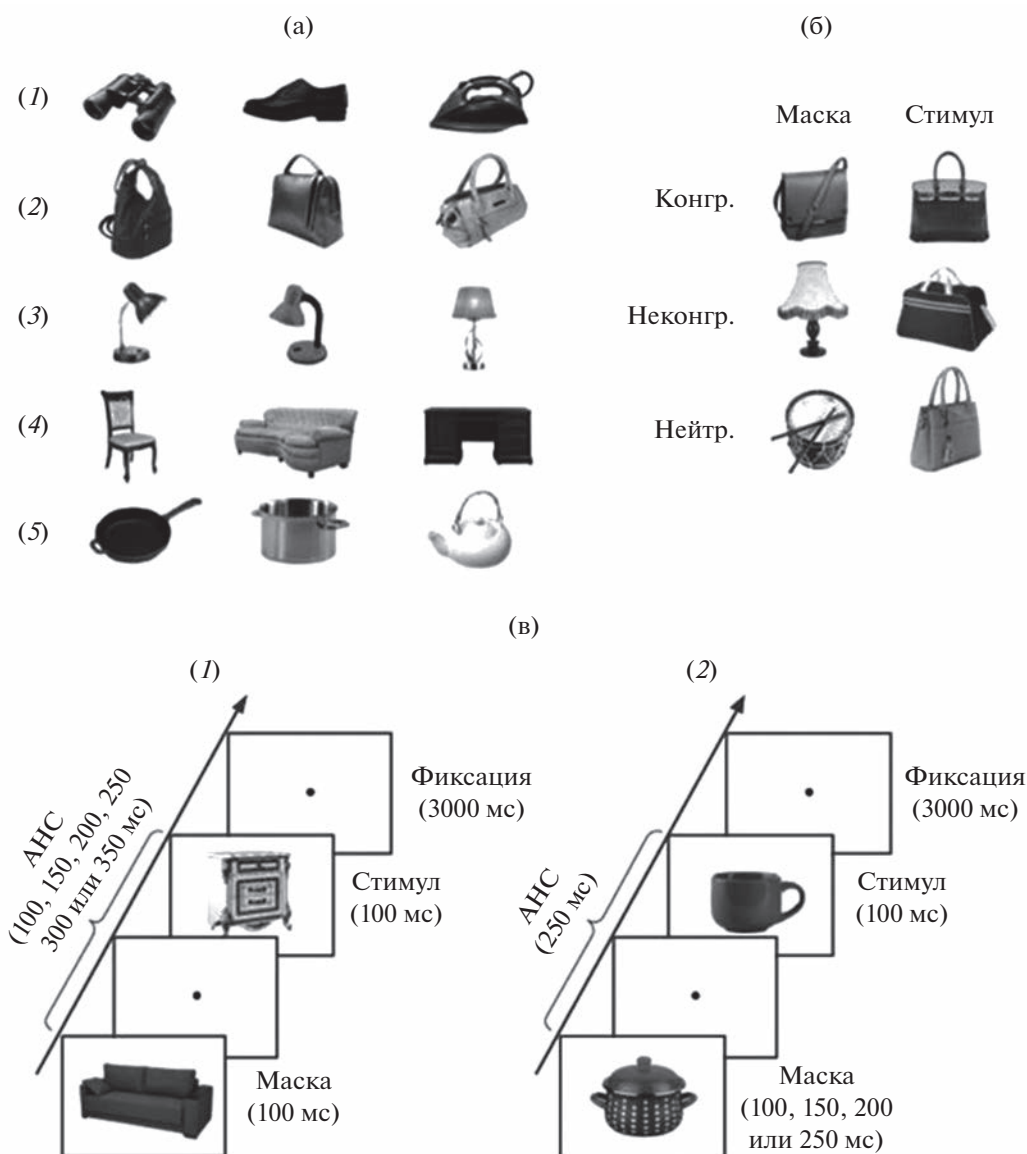
при постоянной длительности предъявления дистрактора, во второй изменялась длительность при постоянной АНС. Анализировали параметры поведенческих ответов испытуемых — точность и время реакции.

## МЕТОДИКА

*Характеристика группы испытуемых.* В исследовании влияния величины АНС на базовую и суперординатную категоризацию участвовало 26 испытуемых (10 мужчин и 16 женщин, средний возраст  $23.3 \pm 0.8$  лет). По самоотчету четверо испытуемых были левшами, все остальные были правшами. Одна из испытуемых была исключена из последующего анализа, так как допустила много ошибок (77% в серии с базовой категоризацией) при выполнении экспериментального задания. В исследовании влияния длительности маски на базовую и суперординатную категоризацию участвовало 26 человек (10 мужчин и 16 женщин, средний возраст  $22.2 \pm 0.7$  лет). По самоотчету один испытуемый был левшой, остальные правшами. Только четверо испытуемых участвовало в обоих исследованиях, интервал между экспериментами составил от 3 до 6 месяцев. Ото всех испытуемых было получено письменное согласие на проведение исследования, согласно протоколу, утвержденному этической комиссией ИВНД и НФ РАН. Исследование проводилось в дневное время, с 10:00 до 17:00.

*Стимулы.* В качестве целевых и маскирующих стимулов использовали черно-белые фотографии предметов (рис. 1 (а)). Исходные изображения выбирали из цветных фотографий, размещенных в сети Интернет в свободном доступе. Выбранные изображения вырезали из фона с помощью инструментов программы Adobe Photoshop CS6 и помещали по центру заранее созданного макета с белым фоном размером  $800 \times 600$  пикселей. Размер самого изображения составлял  $210 \times 210$  пикселей, разрешение — 72 точки на дюйм (72 dpi). Далее цветное изображение превращали в черно-белое, переводя его из режима RGB в режим градаций серого. Размер изображения на экране монитора — 8–10 см по ширине и по высоте, что в условиях эксперимента (120 см от экрана до глаз испытуемого) составляло  $3.8^\circ$ – $4.8^\circ$ .

*Ход психофизического эксперимента по изучению влияния АНС.* Каждый испытуемый участвовал в двух экспериментальных сериях



**Рис. 1.** Дизайн эксперимента. (а) — примеры масок и стимулов различных категорий: (1) — бытовые предметы, (2) — сумки, (3) — настольные лампы, (4) — мебель, (5) — посуда. (б) — примеры пар маска-стимул для серии с базовой категоризацией. Приведены варианты конгруэнтной, неконгруэнтной и нейтральной пар. (в) — временные схемы предъявления изображений: (1) — для серии по изучению влияния изменения АНС, (2) — для серии по изучению влияния изменения длительности предъявления маски.

**Fig. 1.** Experimental design. (a) — examples of masks and stimuli belonging to various categories: (1) — man-made objects, (2) — bags, (3) — desk lamps, (4) — furniture, (5) — dishes. (б) — examples of mask-stimulus pairs for basic-level categorization task. Variants of congruent, incongruent and neutral pairs are given. (в) — stimulus presentation sequence: (1) — trial procedure for investigation of SOA influence, (2) — trial procedure for investigation of mask duration influence.

с базовой (использовались базовые категории предметов “сумка” и “настольная лампа”) и суперординатной (“мебель” и “посуда”) категоризацией изображений. Значимым стимулам предшествовали незначимые изображения — маски. Примеры пар масок и стимулов приведены на рис. 1 (б). Использовались три

варианта маскировки: (1) конгруэнтная маска — изображение той же категории (например, маска — сумка и стимул — сумка); (2) неконгруэнтная маска — несовпадающее изображение, относящееся к другой категории (например, маска — сумка и стимул — настольная лампа); (3) нейтральная маска —

несовпадающее изображение предмета (например, маска — барабан и стимул — сумка). Неконгруэнтные маски относились к тем же категориям, что и целевые стимулы (“сумка” и “настольная лампа” для базовой категоризации, “мебель” и “посуда” для суперординатной). Нейтральная маска не принадлежала ни к одной из опознаваемых испытуемыми категорий (например, скрипка, зонт, утюг, ключ). Для каждой из опознаваемых категорий было создано 16 изображений (8 использовались в качестве целевых стимулов, а другие 8 — в качестве масок), еще 16 изображений служили нейтральными масками (по 8 для каждой из серий). Если изображение присутствовало среди масок, оно не могло использоваться в качестве стимула, и наоборот. Для каждого блока экспериментальной серии было составлено 48 пар маска-стимул, каждая из которых в ходе эксперимента предъявлялась 2 раза. Серии по изучению влияния АНС состояли из 6 блоков (всего 288 пар маска-стимул), а по изучению влияния длительности — из 4 (192 пары маска-стимул). Длительность предъявления маски — 100 мс, стимула — также 100 мс. Интервал от окончания предъявления стимула до появления маски из следующей пары составлял 3 с (рис. 1 (в)).

Во время эксперимента испытуемый сидел в звукозаглушенной камере перед экраном монитора Samsung S27A750D (диагональ 27 дюймов, разрешение  $1920 \times 1080$ , частота обновления 60 Гц) на расстоянии 120 см. Предъявление стимулов, регистрацию точности опознания (в %) и времени реакции (ВР, мс) проводили с помощью программы E-Prime 2.0 (Psychology Software Tools, Inc., США) с выносной клавиатурой Serial Response Box. Испытуемых просили нажимать на клавиши Serial Response Box быстро, стараясь избегать ошибок.

Каждая серия начиналась с появления на экране монитора инструкции. Например, для серии с базовой категоризацией инструкция выглядела так: “При появлении изображения сумки нажмите на цифру 1. При появлении изображения настольной лампы нажмите на цифру 2”. Серия начиналась с тренировки для выработки моторного навыка, в ходе которой стимулы предъявляли без маски, а испытуемый обучался нажимать на соответствующие им клавиши выносной клавиатуры Serial Response Box. Далее следовала основная часть, в которой каждому стимулу предшествовало незначимое маскирующее изображение. Основная часть состояла из шести

блоков, разделённых паузами, длительность которых регулировал сам испытуемый. Блоки отличались между собой величиной АНС. Самая короткая АНС составляла 100 мс, т.е. стимул предъявлялся сразу после выключения маски, в других блоках АНС пошагово увеличивали на 50 мс, то есть она составляла 150, 200, 250, 300 и 350 мс. Блоки предъявлялись в случайном порядке. Для того чтобы избежать заучивания сочетаний масок и стимулов, пары изображений между блоками отличались.

*Ход психофизического эксперимента по изучению влияния длительности маски.* В данном исследовании использовались те же маски и стимулы, что и при изучении влияния АНС. Оно также состояло из двух серий на базовую и суперординатную категоризацию. Каждая серия включала в себя четыре блока с разной длительностью маски: 100, 150, 200 и 250 мс, которые предъявлялись в случайном порядке. АНС в ходе эксперимента была постоянной и составляла 250 мс. Стимул появлялся на экране на 100 мс, интервал между парами маска-стимул составлял 3 с (рис. 1 (в)).

*Использование метода экспоненциальной регрессии для анализа зависимости ВР от величины АНС.* Зависимость величины ВР от АНС наиболее полно описывается уравнением экспоненциальной регрессии:

$$y = A + Be^{Cx},$$

где  $y$  — время реакции,  $x$  — величина АНС,  $A$  — коэффициент, описывающий асимптотическое предельное значение ВР при большом АНС,  $B$  — диапазон изменений,  $C$  — показатель скорости изменения ВР относительно величины предшествующего значения. В программе Statistica 10.0 вычисляли уравнения экспоненциальной регрессии и строили графики зависимости ВР от величины АНС при категоризации на базовом и суперординатном уровнях для трех типов масок.

*Анализ прайминг-эффекта.* Прайминг-эффект вычисляли для каждого испытуемого как разницу между ВР опознания изображения с неконгруэнтными и конгруэнтными масками ( $ВР_{неконгр} - ВР_{конгр}$ ).

*Статистическая обработка.* С помощью дисперсионного анализа с повторными измерениями (ANOVA RM) анализировали ВР, величину прайминг-эффекта и точность опознания изображений. При анализе эффектов АНС учитывали влияние факторов УРОВЕНЬ

(2 уровня — базовый и суперординатный), МАСКА (3 уровня) и АНС (6 уровней: 100, 150, 200, 250, 300 и 350 мс). При оценке эффектов длительности маски учитывали влияние факторов УРОВЕНЬ (2 уровня), МАСКА (3 уровня) и ДЛИТЕЛЬНОСТЬ (4 уровня: 100, 150, 200 и 250 мс). Дисперсионный анализ величины прайминг-эффекта проводили с учетом факторов УРОВЕНЬ и временных параметров предъявления маски (АНС или ДЛИТЕЛЬНОСТИ). Результаты ANOVA при необходимости корректировали поправкой Гринхауса—Гейсера. При внутригрупповых post-hoc-сопоставлениях использовали Тьюки-тест. Статистический анализ проводили в программах IBM SPSS 23.0 и Statistica 10.0.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

*Анализ влияния АНС.* Дисперсионный анализ ВР показал достоверное влияние факторов АНС  $F(5, 120) = 6.15, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.20$ , МАСКА  $F(2, 48) = 37.08, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.61$  и взаимодействия УРОВЕНЬ  $\times$  МАСКА  $F(2, 48) = 5.35, p = 0.008, \eta_p^2 = 0.18$ . Как видно на рис. 2, независимо от уровня категоризации и типа маски, наибольшее ВР наблюдается при АНС 100 мс, т.е. когда стимул появляется сразу после маски. При увеличении АНС от 100 до 200 мс ВР резко уменьшается, дальнейшее увеличение АНС практически не влияет на величину ВР. Конгруэнтная маска облегчает опознание значимого стимула, при ней ВР достоверно меньше, чем при других типах маскировки ( $p = 0.0001$  по сравнению с неконгруэнтной маской при обоих вариантах категоризации,  $p = 0.0001$  и  $p = 0.001$  по сравнению с нейтральной маской для базового и суперординатного уровней соответственно). Неконгруэнтная маска затрудняет категоризацию изображений, что выражается в более высоких значениях ВР по сравнению с конгруэнтной и нейтральной масками. Нейтральная маска также замедляет категоризацию, но в меньшей степени, чем неконгруэнтная ( $p = 0.012$  и  $p = 0.015$  при сравнении этих двух типов маскировки для базового и суперординатного уровней соответственно). Степень влияния маски зависит от уровня категоризации, категория маски больше влияет на ВР при базовой, чем при суперординатной категоризации. При базовой категоризации более выражено облегчение опознания в случае

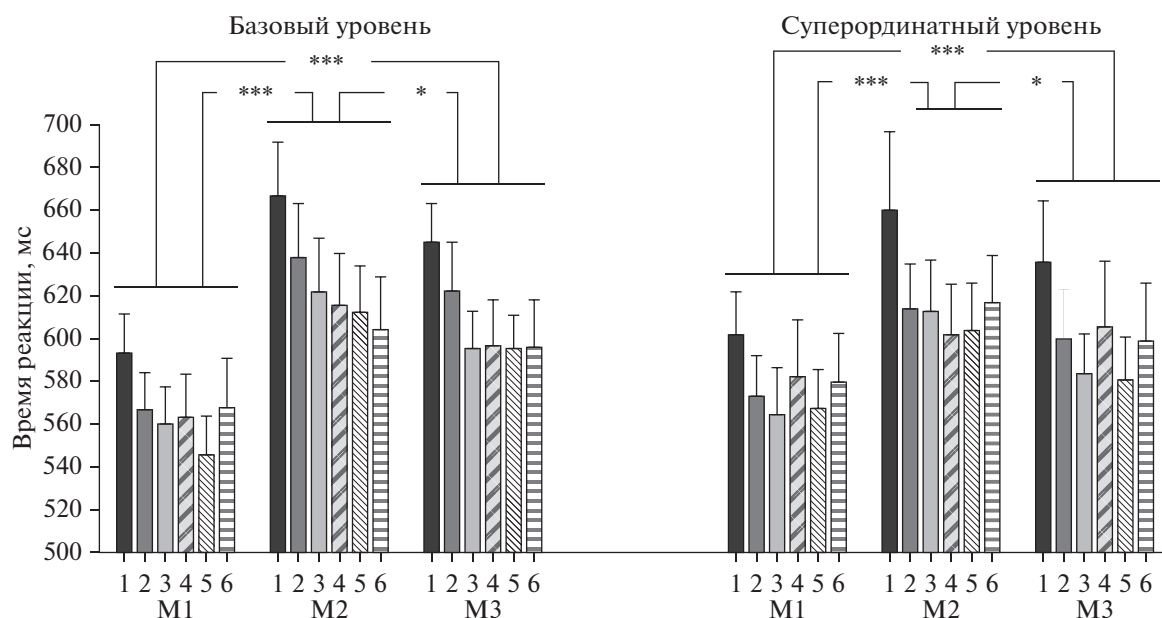
конгруэнтной маски и ухудшение при неконгруэнтной.

Для точности опознания дисперсионный анализ выявил достоверный эффект факторов УРОВЕНЬ  $F(1, 24) = 5.15, p = 0.033, \eta_p^2 = 0.18$  и МАСКА  $F(2, 48) = 4.37, p = 0.030, \eta_p^2 = 0.15$ . Точность базовой категоризации меньше, чем суперординатной. Точность опознания выше при конгруэнтной маске по сравнению с неконгруэнтной и нейтральной (табл. 1).

Для сравнения характера зависимости ВР от величины АНС при базовой и суперординатной категоризации была вычислена функция экспоненциальной регрессии. Полученные коэффициенты приведены в табл. 2. На представленных на рис. 3 графиках видно, что в случае конгруэнтной маски различия ВР между уровнями категоризации наблюдаются при АНС больше 200 мс: ВР базовой категоризации меньше, чем суперординатной. При маскировке неконгруэнтным или нейтральным изображением отличия между уровнями наблюдаются только при АНС, равной 150 мс: суперординатная категоризация происходит быстрее, чем базовая.

Был проанализирован прайминг-эффект — различие в скорости выполнения задания при конгруэнтной и неконгруэнтной маске, для которого дисперсионный анализ показал достоверный эффект фактора УРОВЕНЬ  $F(1, 24) = 6.96, p = 0.014, \eta_p^2 = 0.23$ . При суперординатной категоризации величина прайминг-эффекта значительно ниже, чем при базовой (рис. 4 (а)). В использованном диапазоне АНС не обнаружено достоверного влияния временных параметров предъявления маски на величину прайминг-эффекта.

*Анализ влияния длительности маски.* Дисперсионный анализ ВР показал достоверное влияние факторов УРОВЕНЬ  $F(1, 25) = 6.17, p = 0.020, \eta_p^2 = 0.20$ , ДЛИТЕЛЬНОСТЬ  $F(3, 75) = 3.63, p = 0.017, \eta_p^2 = .13$ , МАСКА  $F(2, 50) = 26.74, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.52$  и взаимодействие УРОВЕНЬ  $\times$  МАСКА  $F(2, 50) = 5.36, p = 0.008, \eta_p^2 = 0.18$ . ВР базовой категоризации больше, чем суперординатной (рис. 5). Наибольшее ВР наблюдается при длительности маски 250 мс. При других длительностях предъявления маски (100, 150 и 200 мс) ВР было меньше и практически не зависело от длительности маски. При конгру-



**Рис. 2.** Зависимость ВР категоризации изображений на базовом и суперординатном уровнях от типа маски и величины АНС. М1 — конгруэнтная маска, М2 — неконгруэнтная маска, М3 — нейтральная маска. Цифрами обозначена величина АНС: 1 — 100 мс, 2 — 150 мс, 3 — 200 мс, 4 — 250 мс, 5 — 300 мс, 6 — 350 мс. Приведены средние значения и ошибки среднего. Достоверность отличий: \* —  $p < 0.05$ , \*\* —  $p < 0.01$ , \*\*\* —  $p < 0.001$  (Тьюки-тест).

**Fig. 2.** Dependence of the image categorization RT at the basic and superordinate levels on the mask type and SOA. M1 — congruent mask, M2 — incongruent mask, M3 — neutral mask. The numbers indicate SOA: 1 — 100 ms, 2 — 150 ms, 3 — 200 ms, 4 — 250 ms, 5 — 300 ms, 6 — 350 ms. The mean and SEM are shown. Significant difference: \* —  $p < 0.05$ , \*\* —  $p < 0.01$ , \*\*\* —  $p < 0.001$  (Tukey's test).

энтной маске, как и в предыдущем эксперименте, наблюдалось облегчение категоризации, что выражалось в уменьшении ВР ( $p < 0.001$  по сравнению с неконгруэнтной маской при обоих вариантах категоризации,  $p < 0.001$  и  $p < 0.01$  по сравнению с нейтральной для базового и суперординатного уровней соответственно). Так же, как в исследовании эффектов АНС, влияние типа маски больше при базовой, чем при суперординатной категоризации.

Дисперсионный анализ показал, что длительность предъявления маски не влияла на точность опознания стимула.

Дисперсионный анализ прайминг-эффекта для ВР показал эффект фактора УРОВЕНЬ  $F(1, 25) = 8.17$ ,  $p = 0.008$ ,  $\eta_p^2 = 0.25$ . При суперординатной категоризации разница ВР между конгруэнтной и неконгруэнтной парами маска-стимул меньше, чем при базовой (рис. 4 (б)).

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В настоящем исследовании проанализировано влияние временных характеристик предъявления маски на поведенческие параметры категоризации изображений на базовом и суперординатном уровнях. Было проанализировано влияние величины АНС 100, 150, 200, 250, 300 и 350 мс при постоянной длительности маски 100 мс и влияние длительности маски 100, 150, 200 и 250 мс при постоянной величине АНС 250 мс.

### Сравнение базовой и суперординатной категоризации

В обеих проведенных сериях суперординатная категоризация происходила быстрее, чем базовая. Преимущество суперординатной категоризации при коротких длительностях предъявления стимула описано в большом количестве работ (Mace et al., 2009; Wu et al., 2015; Vanmarcke et al., 2016), а также продемонстрировано в нашем предыдущем исследовании (Мошникова и др., 2022). Показано, что ВР категоризации даже одного и того же изобра-

**Таблица 1.** Точность базовой и суперординатной категоризации изображений при их маскировке конгруэнтными, неконгруэнтными и нейтральными масками. Приведено среднее по группе значение и ошибка среднего

**Table 1.** Accuracy of base and superordinate image categorization when they are masked by congruent, incongruent and neutral masks. The mean and SEM are shown

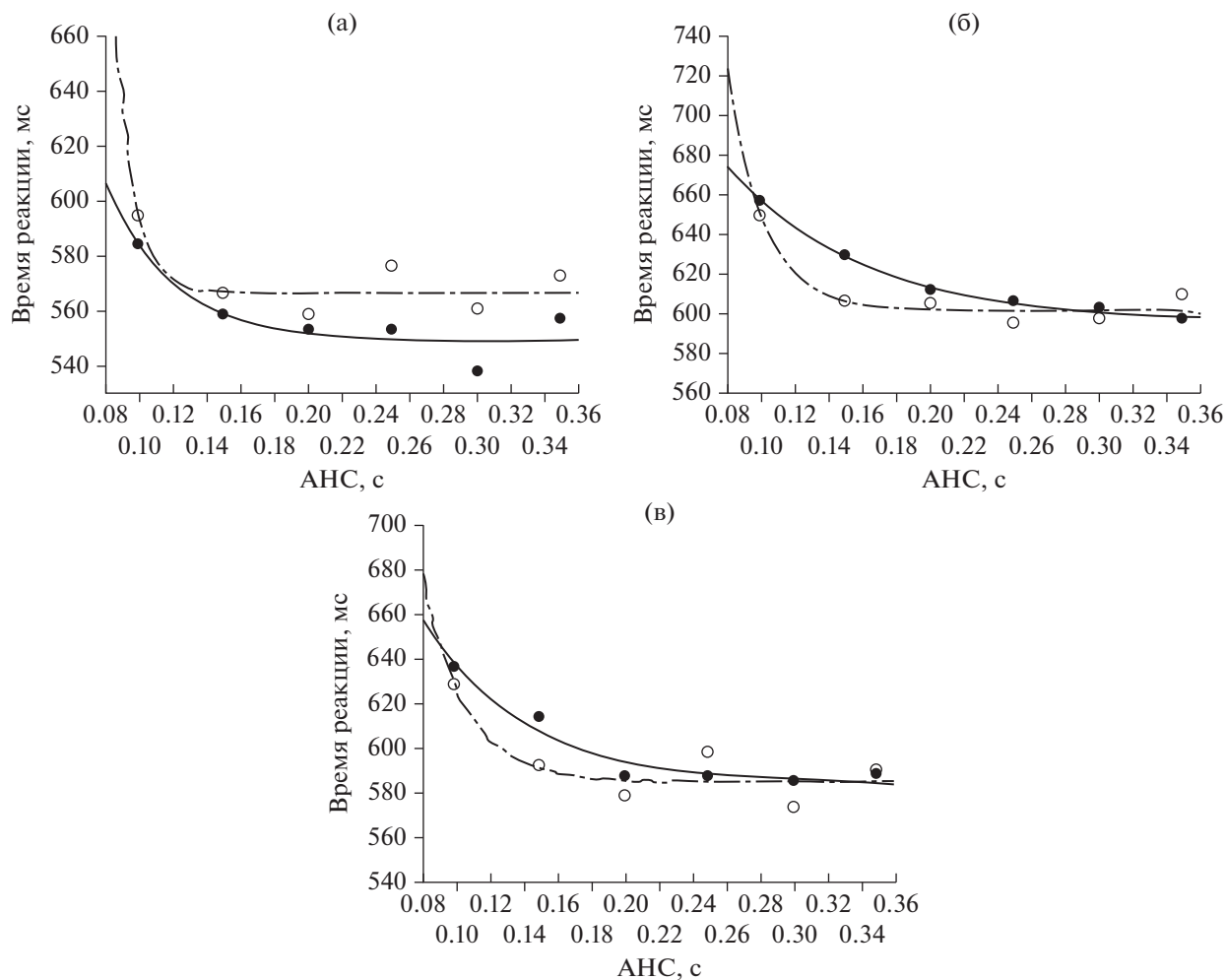
| Уровень категоризации | Тип маски      | Величина АНС, мс |               |               |               |               |               |
|-----------------------|----------------|------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
|                       |                | 100              | 150           | 200           | 250           | 300           | 350           |
| Базовый               | Конгруэнтная   | 99.1<br>(0.3)    | 98.4<br>(0.4) | 99.0<br>(0.5) | 98.3<br>(0.7) | 99.3<br>(0.3) | 99.1<br>(0.3) |
|                       | Неконгруэнтная | 98.4<br>(0.4)    | 97.5<br>(0.8) | 98.5<br>(0.4) | 98.0<br>(0.9) | 98.4<br>(0.5) | 99.0<br>(0.4) |
|                       | Нейтральная    | 97.5<br>(0.7)    | 97.8<br>(0.5) | 98.3<br>(0.5) | 97.1<br>(1.3) | 98.5<br>(0.4) | 98.9<br>(0.3) |
| Суперординатный       | Конгруэнтная   | 98.4<br>(0.6)    | 99.0<br>(0.3) | 99.0<br>(0.4) | 99.3<br>(0.4) | 99.1<br>(0.3) | 99.3<br>(0.3) |
|                       | Неконгруэнтная | 97.4<br>(0.6)    | 98.9<br>(0.4) | 99.3<br>(0.3) | 98.0<br>(0.8) | 98.0<br>(0.6) | 99.4<br>(0.3) |
|                       | Нейтральная    | 99.1<br>(0.3)    | 98.3<br>(0.6) | 99.1<br>(0.3) | 99.1<br>(0.3) | 98.9<br>(0.3) | 98.8<br>(0.6) |

**Таблица 2.** Характеристики уравнения экспоненциальной регрессии ВР в зависимости от величины АНС при базовой и суперординатной категоризации для разных типов маскировки

**Table 2.** Characteristics of RT exponential regression equation depending on the SOA value for basic and superordinate categorization under different types of masking

| Уровень категоризации | Тип маски      | Коэффициенты уравнения экспоненциальной регрессии |          |       |
|-----------------------|----------------|---------------------------------------------------|----------|-------|
|                       |                | A                                                 | B        | C     |
| Базовый               | Конгруэнтная   | 549.3                                             | 445.2    | –25.4 |
|                       | Неконгруэнтная | 595.8                                             | 513.5    | –12.4 |
|                       | Нейтральная    | 583.6                                             | 574.1    | –16.2 |
| Суперординатный       | Конгруэнтная   | 566.7                                             | 159249.9 | –86.6 |
|                       | Неконгруэнтная | 601.9                                             | 4692.6   | –45.8 |
|                       | Нейтральная    | 585.2                                             | 2280.1   | –39.6 |





**Рис. 3.** Графики экспоненциальной регрессии ВР в зависимости от величины АНС при базовой и суперординатной категоризации для разных типов масок: (а) — при конгруэнтной маске, (б) — при неконгруэнтной маске, (в) — при нейтральной маске. Линиями приведены построенные по уравнению экспоненциальной регрессии графики изменения ВР: сплошная линия — данные при базовой категоризации, пунктирная — при суперординатной. Кружки — зарегистрированные в эксперименте средние по группе значения ВР.

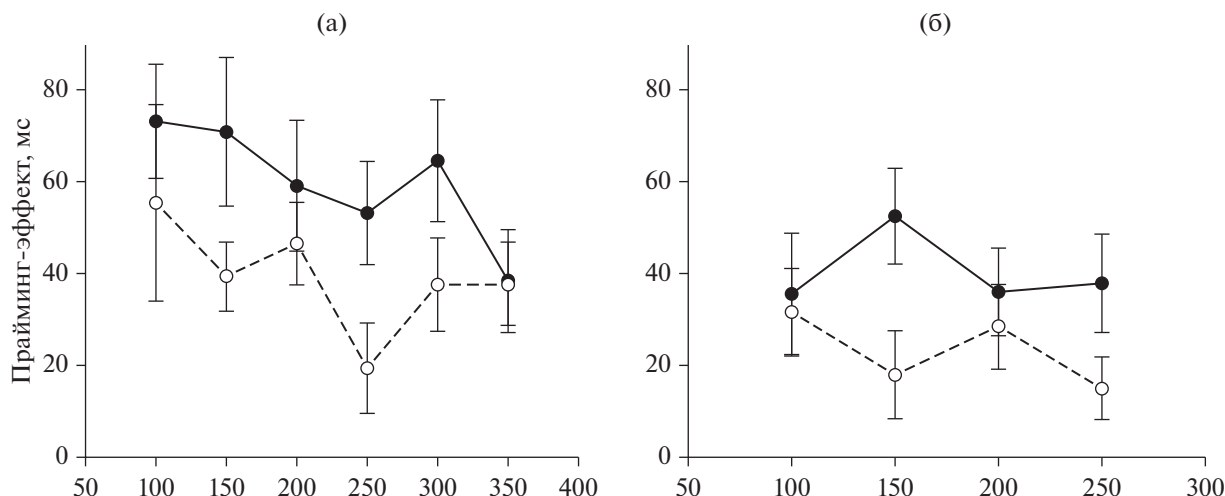
**Fig. 3.** Exponential regression plots represent dependence of RT from SOA for basic and superordinate categorization under different type of forward masking: (a) — congruent mask, (б) — incongruent mask, (в) — neutral mask. Lines represent plots of exponential regression models of RT changing solid line — data for basic-level categorization, dotted line — data for superordinate-level categorization. Circles — mean values of RT for the group that were registered in experiment.

жения меняется в зависимости от уровня, на котором оно категоризуется (Farzmaḥdi et al., 2021). Однако механизм, лежащий в основе этих различий, до сих пор остается неясным. Отчасти это может быть связано с тем, что для суперординатной категоризации важна низкочастотная составляющая зрительной информации, которая передается по более быстрому магноцеллюлярному пути, в то время как для базовой преимущественно используется высокочастотная информация,

передающаяся по более медленному парвоцеллюлярному каналу (Ashtiani et al., 2017).

#### *Анализ влияния категориальной принадлежности маски*

Конгруэнтная маска облегчала процесс категоризации целевого стимула, а неконгруэнтная, наоборот, ухудшала его. Используемую в нашем исследовании парадигму можно сравнить с праймингом ответа (response prim-



**Рис. 4.** Величина прайминг-эффекта ( $BP_{\text{неконгр}} - BP_{\text{конгр}}$ ) при базовой и суперординатной категоризации. (а) — прайминг-эффект при различной величине АНС, (б) — при разной длительности предъявления маски. Сплошная линия — данные при базовой категоризации, пунктирная — при суперординатной. Приведены средние значения и ошибки среднего.

**Fig. 4.** Priming-effect ( $RT_{\text{incongr}} - RT_{\text{congr}}$ ) for basic- and superordinate-level categorization. (a) — dependence of priming-effect on SOA, (б) — dependence of priming-effect on mask duration. Solid line — data for basic-level categorization, dotted line — data for superordinate-level categorization. The mean and SEM are shown.

ing) и семантическим праймингом, при которых конгруэнтный прайм облегчает опознание значимого стимула.

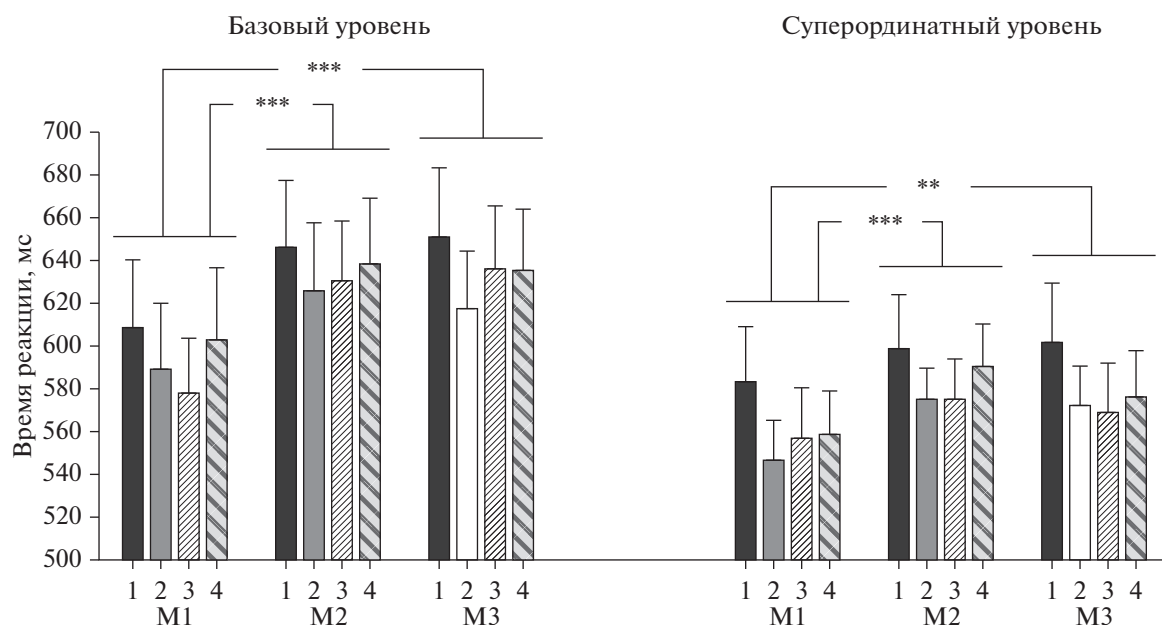
При прайминге ответа стимул, которому предшествует прайм, вызывающий такой же моторный ответ, опознается быстрее и точнее, а опознание стимула, которому предшествует прайм, соответствующий альтернативному ответу, происходит медленнее и с большим количеством ошибок (Schmidt F., Schmidt T., 2021). Характер влияния предшествующего незначимого изображения при прайминге ответа совпадает с наблюдаемым в нашей работе. Маскирующее изображение активирует подготовку к соответствующему ему моторному ответу и, если оно конгруэнтно целевому стимулу,  $BP$  уменьшается, а если неконгруэнтно, то  $BP$  возрастает.

Предполагается, что семантический прайминг связан с повышением селективности репрезентаций, что выражается в наблюдаемой при этом нейрональной супрессии (Ko et al., 2014). Чем семантически ближе друг к другу прайм и стимул, тем быстрее и точнее происходит опознание. Ранее нами было показано снижение амплитуд среднелатентных компонентов зрительных вызванных потенциалов при маскировке бытовых предметов изображениями других предметов по сравнению с масками-животными (Мошникова и др.,

2022). Таким образом, наблюдаемые эффекты можно анализировать с учетом предполагаемой активации репрезентаций зрительных образов. Если предшествующее незначимое изображение и значимый стимул принадлежат к одной категории, то незначимый стимул преактивирует репрезентацию (semantic preactivation) и переработка последующего значимого изображения происходит быстрее и более точно (Ko et al., 2014; Ortells, 2016), что совпадает с полученными в нашем исследовании данными.

#### *Сравнение эффективности прямой маскировки при базовой и суперординатной категоризации*

По нашим данным, незначимая зрительная информация оказывала более существенное влияние на базовую категоризацию, что выражалось в большей величине прайминг-эффекта по сравнению с суперординатной. Эти отличия, предположительно, могут быть связаны с различиями в организации репрезентаций базовых и суперординатных категорий. Также при базовой и суперординатной категоризации может различаться характер взаимодействия двух одновременно активных репрезентаций — маски и стимула — при маскировке неконгруэнтными и нейтральными изображениями.



**Рис. 5.** Зависимость ВР категоризации изображений на базовом и суперординатном уровнях от типа маски и длительности ее предъявления. M1 – конгруэнтная маска, M2 – неконгруэнтная маска, M3 – нейтральная маска. Цифрами обозначена длительность предъявления маски: 1 – 250 мс, 2 – 200 мс, 3 – 150 мс, 4 – 100 мс. Приведены средние значения и ошибки среднего. Достоверность отличий: \*\* –  $p < 0.01$ , \*\*\* –  $p < 0.001$  (Тьюки-тест).

**Fig. 5.** Dependence of the image categorization RT at the basic and superordinate levels on the mask type and duration. M1 – congruent mask, M2 – incongruent mask, M3 – neutral mask. The numbers indicate mask duration: 1 – 250 ms, 2 – 200 ms, 3 – 150 ms, 4 – 100 ms. The mean and SEM are shown. Significant difference: \*\* –  $p < 0.01$ , \*\*\* –  $p < 0.001$  (Tukey's test).

В нижневисочной коре репрезентации формируют кластеры, в которых базовые категории оказываются частью большей по размеру репрезентации суперординатного уровня (Grill-Spector, Weiner, 2014; Rajalingham, DiCarlo, 2019; Margalit, 2020). Взаимное расположение репрезентаций можно описать с использованием многомерного континуума, в котором расстояние между репрезентациями семантически близких объектов (например, “тигр” и “лев”) будет меньше, чем между далекими (например, “лев” и “стол”) (Huth et al., 2012). На параметры опознавания стимула влияет то, какое место занимает его репрезентация внутри большей суперординатной категории. Так, репрезентации некоторых стимулов, относимых к категории “одушевленные объекты” (например, насекомые или части тел), расположены ближе к границе с “неодушевленными объектами”, в то время как другие (например, изображения людей и обезьян) далеки от нее (Connolly et al., 2012; Carlson et al., 2014). Показано, что при разделении стимулов на “одушевленные” и “неодушевленные” быстрее происходит опознавание тех объектов,

чьи репрезентации находятся дальше от границы разделения категорий (Carlson et al., 2014).

В нашей работе взаимодействие двух репрезентаций происходило при маскировке неконгруэнтными и нейтральными изображениями. Ухудшение опознавания при этих вариантах маскировки оказалось больше при базовой, чем при суперординатной категоризации. Известно, что после кратковременного предъявления изображения его репрезентация в нижневисочной коре остается активной примерно 300 мс (Rolls, Tovee, 1994). С учетом этих данных можно думать, что репрезентация маскирующего изображения все еще активна тогда, когда начинается переработка информации о целевом стимуле, следовательно, две активные репрезентации могут взаимодействовать между собой. Степень интерференции при активации репрезентаций двух категорий может зависеть от их взаимного расположения: чем они ближе, тем сильнее они влияют друг на друга. Но нам представляется маловероятным, что репрезентации используемых в нашем исследовании базовых категорий “настольные лампы”

и “сумки” лежат ближе друг к другу, чем сравниваемые с ними суперординатные категории “мебель” и “посуда”. В работе Contini и соавторов продемонстрировано, что не для всех задач на категоризацию ВР коррелирует со взаимным расположением репрезентаций (Contini et al., 2021). Поэтому мы предполагаем, что наблюдаемые отличия между уровнями категоризации связаны в большей степени с различиями их механизмов, а не со взаимным расположением репрезентаций.

При базовой категоризации улучшение опознания при маскировке конгруэнтным изображением по сравнению с неконгруэнтными больше, чем при суперординатной. Можно предположить, что это различие может быть связано с отличиями внутренней структуры репрезентаций. С использованием метода фМРТ показано, что при опознании изображений одной и той же категории типичные ее представители вызывают сходный паттерн активации в затылочной и височной коре, в то время как активация в ответ на предъявление нетипичных изображений будет отличаться (Davis, Poldrack, 2014). Суперординатные категории состоят из более разнообразных представителей, чем базовые. Поэтому можно предположить, что характер активации репрезентации при опознании различных членов суперординатной категории может существенно отличаться, т.е. ответ нейронов на маску и целевой стимул не будет полностью совпадать, что приведет к уменьшению наблюдаемого прайминг-эффекта.

#### *Анализ влияния АНС*

Анализ времени реакции и точности опознания показал, что увеличение АНС приводило к уменьшению ВР и повышению точности категоризации изображений как на базовом, так и на суперординатном уровнях. Наиболее выраженное ухудшение опознания наблюдалось при предъявлении стимула сразу после маски, то есть при АНС, равной 100 мс. Этот результат сходен с данными Macknik и соавторов о том, что при прямой маскировке простых геометрических стимулов они хуже всего опознавались при совпадении их временных и пространственных границ с границами маскирующего изображения (Macknik, Livingstone, 1998; Macknik, 2006). Авторы предположили, что ухудшение опознания связано с механизмом латерального торможения на уровне ранних зритель-

ных областей (Macknik, Martinez-Conde, 2004; Macknik, 2006). Это может частично объяснить ухудшение опознания при предъявлении стимула сразу после маски. Но если бы наблюдаемое в нашей работе ухудшение опознания было бы связано только с латеральным торможением, то наибольший маскирующий эффект оказывала бы конгруэнтная маска, наиболее сходная по своим геометрическим характеристикам со стимулом. В нашем же исследовании сильнее всего ухудшала опознание неконгруэнтная маска. Следовательно, можно предположить, что наблюдаемые эффекты обусловлены другими механизмами.

Сходные с нашими результаты были получены в работе Poncet и соавторов, в которой сравнивали влияние предшествующего дистрактора на базовую и суперординатную категоризацию при АНС 80 и 180 мс (Poncet et al., 2020). Показано, что конгруэнтный прайм облегчал как базовую, так и суперординатную категоризацию (Poncet et al., 2020). При этом, как и в нашей работе, ВР снижалось при увеличении АНС.

В работе Eddy и Holcomb (Eddy, Holcomb, 2010) с использованием парадигмы прайминга повторением проанализировано влияние временных параметров предъявления прайма на амплитуду компонентов зрительных вызванных потенциалов. Показано, что только при небольших величинах АНС (110 и 230 мс) наблюдалось отличие в амплитудах ранних (N/P 190) компонентов зрительных вызванных потенциалов между совпадающими и несовпадающими парами прайм-стимул: при совпадении амплитуда была меньше. Авторы предполагают, что исчезновение отличий в амплитудах N/P 190 при увеличении АНС отражало уменьшение прайминг-эффекта, при этом прайм влиял на перцептивный этап переработки значимого стимула (Eddy, Holcomb, 2010). Эти данные позволяют объяснить полученную нами регрессионную зависимость ВР категоризации от величины АНС. В диапазоне величины АНС от 100 до 200 мс наблюдалось значительное снижение ВР, а при дальнейшем увеличении АНС ВР практически не изменялось. Можно предположить, что при небольших значениях АНС маска ухудшала перцептивный этап переработки значимого изображения и затрудняла разделение значимой и незначимой зрительной информации. Интересно то, что в случае суперординатной категоризации снижение ВР при увеличении

АНС происходило быстрее, чем при базовой. Учитывая данные о том, что изменение АНС влияет прежде всего на перцептивный этап переработки зрительной информации (Eddy, Holcomb, 2010), можно предположить существенные отличия этого этапа при суперординатной и базовой категоризации. Данное предположение согласуется с результатами многих поведенческих работ (Ashtiani et al., 2017; Long et al., 2018; Taniguchi et al., 2020), а также с нашим предыдущим исследованием, в котором были продемонстрированы отличия ранних компонентов зрительных вызванных потенциалов при базовой и суперординатной категоризации (Мошникова и др., 2022). Категория маски влияла на амплитуду ранних компонентов ВР только в случае суперординатной, но не базовой категоризации (Мошникова и др., 2022).

#### *Анализ влияния длительности*

Анализ влияния длительности маски на ВР категоризации стимула показал, что наиболее отчетливое замедление опознания наблюдалось при длительности предъявления маски 250 мс. Этот результат совпадает с полученным в серии по анализу влияния АНС, в которой опознание ухудшалось при совпадении временных границ маски и стимула. Дальнейшее уменьшение длительности предъявления незначительно влияло на ВР категоризации: сначала (при длительности 200 мс) наблюдалось снижение ВР, которое в дальнейшем сменялось небольшим увеличением.

Изменение ВР категоризации изображений в зависимости от длительности маски может быть сопоставлено с изменением активности репрезентаций при семантическом прайминге. В работе Miyoshi и коллег показано, что длительность предъявления прайма (изображения) влияет на ВР опознания целевого стимула (слова) (Miyoshi et al., 2015). При небольших длительностях предъявления прайма наблюдался положительный прайминг, который при увеличении длительности предъявления незначимого предшествующего изображения уменьшался или даже сменялся торможением опознания последующего значимого стимула (Miyoshi et al., 2015). Авторы связывают наблюдаемые эффекты с активацией репрезентации при коротких длительностях прайма и ее адаптацией, приводящей к снижению преактивации, при большем времени предъявления (Miyoshi et al., 2015).

Возможно, наблюдаемое в нашем исследовании уменьшение ВР при большей длительности предъявления маски связано в том числе с адаптацией репрезентации.

При увеличении длительности маски от 100 до 200 мс наблюдается незначительное снижение ВР. Можно предположить, что оно связано с увеличением глубины переработки маскирующего изображения и лучшим разделением значимой и незначимой информации. В пользу данного предположения свидетельствуют данные Eddy и Holcomb (Eddy, Holcomb, 2010) о зависимости амплитуды позднего компонента зрительных вызванных потенциалов N400 от длительности прайма. Увеличение амплитуды фронтального компонента N400 при несовпадающей паре прайм-стимул по сравнению с совпадающей наблюдалось только при больших длительностях прайма (70 и 90 мс по сравнению с 30 и 50 мс), что, предположительно, отражает его более глубокую переработку (Eddy, Holcomb, 2010).

Так же как в серии, где изменяли длительность АНС, зависимость ВР от длительности предъявления маски более выражена в случае базовой категоризации. Согласно предположению Eddy и Holcomb, изменение длительности прайма влияет на поздний когнитивный этап переработки значимого изображения, а именно на амплитуду компонента N400, отражающего семантический анализ стимула (Eddy, Holcomb, 2010). Следовательно, можно предположить, что различие в характере влияния длительности маски при базовой и суперординатной категоризации связано с отличиями в организации позднего когнитивного этапа переработки зрительной информации. Это предположение согласуется с полученными нами ранее данными о влиянии уровня категоризации на поздние компоненты зрительных вызванных потенциалов, а именно: N400 в лобных и поздней позитивности в центральных отведениях (Мошникова и др., 2022). Предполагается, что данные компоненты отражают анализ и извлечение из памяти информации об описании категории (Codispoti et al., 2006; Kutas, Federmeier, 2011; Rabi et al., 2018).

Таким образом, ВР категоризации изображения больше зависит от величины АНС, чем от длительности предъявления маски. Исходя из гипотезы, что изменение АНС больше влияет на перцептивный этап переработки изображения, а длительность — на когнитивный (Eddy, Holcomb, 2010), можно предположить, что характеристики незначимой

зрительной информации больше влияют на перцептивный этап категоризации. Динамика изменения ВР в зависимости от АНС существенно различается между уровнями категоризации: для базовой категоризации она более отчетлива, чем для суперординатной. Можно предположить, что это связано с большей ролью в суперординатной категоризации низкочастотной зрительной информации, передающейся по быстрому магноцеллюлярному пути (Ashtiani et al., 2017). С этим предположением согласуются данные о влиянии неосознанно воспринимаемого прайма только на суперординатную, но не на базовую категоризацию (Koivisto, Rientamo, 2016), а также о преимуществе суперординатной категоризации при короткой длительности предъявления целевого стимула (Mace et al., 2009). Вероятно, неосознанная суперординатная категоризация маскирующего изображения происходит успешно даже при небольшой величине АНС, что позволяет эффективно разделить значимую и незначимую информацию, поэтому суперординатная категоризация целевого стимула меньше зависит от временных параметров предъявления маски.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе исследовали влияние на базовую и суперординатную категоризацию изображений предметов характеристик незначимой информации, предшествующей значимому стимулу. Показано, что суперординатная категоризация происходила быстрее и точнее, чем базовая, что, вероятно, связано с большим вкладом в суперординатную категоризацию низкочастотного описания изображения, быстро передающегося по магноцеллюлярному пути. Конгруэнтное предшествующее изображение (маска) облегчало категоризацию. Предположительно, этот эффект вызван праймингом ответа (response priming) и/или семантическим праймингом. Семантические характеристики и временные параметры предъявления маски (АНС и длительность) больше влияют на базовую, чем на суперординатную категоризацию. Это выражается в большем прайминг-эффекте при базовой категоризации по сравнению с суперординатной, что может быть следствием различий в организации репрезентаций этих двух уровней в нижневисочной коре. Выявлены отличия двух уровней категоризации в динамике зависимости ВР от величины АНС. При суперординатной категоризации ВР резко

снижается при увеличении АНС от 100 до 150 мс, в дальнейшем практически не меняясь. При базовой категоризации изменения ВР происходят более плавно, подчиняясь экспоненциальной регрессионной зависимости. Предположительно, эти различия связаны с особенностями перцептивного этапа категоризации изображений, который более чувствителен к воздействию незначимой информации при базовой категоризации по сравнению с суперординатной. Изменение длительности маски влияло только на ВР категоризации, но не на точность. Если изменение длительности от 100 до 200 мс практически не влияло на ВР, то при длительности 250 мс оно резко нарастало. Различия между уровнями проявлялись в более отчетливой зависимости ВР от длительности маски при базовой категоризации по сравнению с суперординатной. Принимая во внимание, что изменение длительности маски влияет преимущественно на когнитивный этап переработки стимула, можно предположить (1) разную организацию этого этапа при базовой и суперординатной категоризации и (2) большую его устойчивость к воздействию незначимой зрительной информации по сравнению с перцептивным этапом.

## ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена по государственному заданию ИВНД и НФ РАН. Авторы выражают благодарность М.А. Куликову за помощь со статистической обработкой полученных данных.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Герасименко Н.Ю., Кушнир А.Б., Михайлова Е.С. Маскирующие эффекты нерелевантной зрительной информации в условиях базовой и суперординатной категоризации сложных изображений. *Физиология человека*. 2019. 45 (1): 5–18.
- Калинин С.А., Герасименко Н.Ю., Славуцкая А.В., Михайлова Е.С. Поведенческие и электрографические характеристики опознания сложных изображений в условиях их прямой маскировки. Влияние категориальной близости целевого и маскирующего стимулов. *Физиология человека*. 2014. 40 (4): 5–17.
- Лакофф Дж. Женщины, огонь и опасные вещи: Что категории языка говорят нам о мышлении. М.: Языки славянской культуры, 2004. 792 с.
- Мошникова Н.Ю., Кушнир А.Б., Михайлова Е.С. Психофизиологическое исследование базовой и суперординатной категоризации пред-

- метов, осложненной влиянием предшествующего нерелевантного стимула. Физиология человека. 2022. 48 (6): 44–56.
- Ashitani M.N., Kheradpisheh S.R., Masquelier T., Ganjtabesh M.* Object categorization in finer levels relies more on higher spatial frequencies and takes longer. *Front. Psychol.* 2017. 8: 1261.
- Carlson T.A., Ritchie B., Kriegeskorte N., Durvasula S., Ma J.* Reaction time for object categorization is predicted by representational distance. *J. Cogn. Neurosci.* 2014. 26 (10): 132–142.
- Codispoti M., Ferrari V., De Cesarei A., Cardinale R.* Implicit and explicit categorization of natural scenes. *Prog. Brain Res.* 2006. 156: 53–65.
- Cohen M.A., Alvarez G.A., Nakayama K., Konkle T.* Visual search for object categories is predicted by the representational architecture of high-level visual cortex. *J. Neurophysiol.* 2017. 117: 388–402.
- Cohen M.A., Konkle T., Rhee J.Y., Nakayama K., Alvarez G.A.* Processing multiple visual objects is limited by overlap in neural channels. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 2014. 111 (24): 8955–8960.
- Connolly A.C., Guntupalli J.S., Gors J., Hanke M., Halchenko Y.O., Wu Y.C., Abdi H., Haxby J.V.* The Representation of Biological Classes in the Human Brain. *J. Neurosci.* 2012. 32 (8): 2608–2618.
- Contini E.W., Goddard E., Wardle S.G.* Reaction times predict dynamic brain representations measured with MEG for only some object categorization tasks. *Neuropsychol.* 2021. 151: 107687.
- Davis T., Poldrack R.A.* Quantifying the internal structure of categories using a neural typicality measure. *Cereb. Cortex.* 2014. 24: 1720–1737.
- Eddy M.D., Holcomb P.J.* The temporal dynamics of masked repetition picture priming effects: manipulations of stimulus-onset asynchrony (SOA) and prime duration. *Brain Res.* 2010. 1340: 24–39.
- Fabre-Thorpe M.* The characteristics and limits of rapid visual categorization. *Front. Psychol.* 2011. 2: 243.
- Farzmaḥdi A., Fallah F., Rajimehr R., Ebrahimpour R.* Task-dependent neural representations of visual object categories. *Eur. J. Neurosci.* 2021. 54: 6445–6462.
- Grill-Spector K., Weiner K.S.* The functional architecture of the ventral temporal cortex and its role in categorization. *Nat. Rev. Neurosci.* 2014. 15 (8): 536–548.
- Hantsch A., Jescheniak J.D., Müdebach A.* Naming and categorizing objects: Task differences modulate the polarity of semantic effects in the picture–word interference paradigm. *Mem. Cogn.* 2012. 40: 760–768.
- Huth A.G., Nishimoto S., Vu A.T., Gallant J.* A continuous semantic space describes the representation of thousands of object and action categories across the human brain. *Neuron.* 2012. 76: 1210–1224.
- Jiang Z., Qu Y., Xiao Y., Wu Q., Xia L., Li W., Liu Y.* Comparison of affective and semantic priming in different SOA. *Cogn. Process.* 2016. 17: 357–375.
- Ko P.C., Duda B., Hussey E.P., Mason E.J., Ally B.A.* The temporal dynamics of visual object priming. *Brain and Cognition.* 2014. 91: 11–20.
- Koivisto M., Rientamo E.* Unconscious vision spots the animal but not the dog: Masked priming of natural scenes. *Conscious. Cogn.* 2016. 41: 10–23.
- Kutas M., Federmeier K.D.* Thirty years and counting: finding meaning in the N400 component of the event-related brain potential (ERP). *Annu. Rev. Psychol.* 2011. 62 (1): 621–647.
- Long B., Yu C.P., Konkle T.* Mid-level visual features underlie the high-level categorical organization of the ventral stream. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 2018. 115 (38): E9015–E9024.
- Mace M.J.M., Joubert O.R., Nespoulous J.L., Fabre-Thorpe M.* The time-course of visual categorizations: You spot the animal faster than the bird. *PLoS ONE.* 2009. 4 (6): e5927.
- Macknik S.L.* Visual masking approaches to visual awareness. *Prog. Brain. Res.* 2006. 155: 177–215.
- Macknik S.L., Livingstone M.S.* Neuronal correlates of visibility and invisibility in the primate visual system. *Nature Neurosci.* 1998. 1 (2): 144–149.
- Macknik S.L., Martinez-Conde S.* The spatial and temporal effects of lateral inhibitory networks and their relevance to the visibility of spatiotemporal edges. *Neurocomp.* 2004. 58–60: 775–782.
- Margalit E., Jamison K.W., Weiner K.S., Vizioli L., Zhang R.Y., Kay K.N., Grill-Spector K.* Ultra-high-resolution fMRI of human ventral temporal cortex reveals differential representation of categories and domains. *J. Neurosci.* 2020. 40 (15): 3008–3024.
- Miyoshi K., Kimura Y., Ashida H.* Longer prime presentation decreases picture–word cross-domain priming. *Front. Psychol.* 2015. 6: 1040.
- Ortells J. J., Kiefer M., Castillo A., Megías M., Morillas A.* The semantic origin of unconscious priming: Behavioral and event-related potential evidence during category congruency priming from strongly and weakly related masked words. *Cognition.* 2016. 146: 143–157.
- Poncet M., Fabre-Thorpe M., Chakravarthi R.* A simple rule to describe interactions between visual categories. *Eur. J. Neurosci.* 2020. 52: 4639–4666.
- Potter M.C., Hagmann C.E.* Banana or fruit? Detection and recognition across categorical levels in RSVP. *Psychon. Bull. Rev.* 2015. 22: 578–585.
- Rabi R., Joanisse M.F., Zhu T., Minda J.P.* Cognitive changes in conjunctive rule-based category learning: An ERP approach. *Cogn. Affect. Behav. Neurosci.* 2018. 18 (5): 1034–1048.
- Rajalingham R., DiCarlo J.J.* Reversible inactivation of different millimeter-scale regions of primate IT



- results in different patterns of core object recognition deficits. *Neuron*. 2019. 102: 493–505.
- Roelofs A., Piai V.* Distributional analysis of semantic interference in picture naming. *Q. J. Exp. Psychol.* 2017. 70 (4): 782–792.
- Rolls E.T., Tovee M.J.* Processing speed in the cerebral cortex and the neurophysiology of visual masking. *Proc. Biol. Sci.* 1994. 257 (1348): 9–15.
- Rosch E., Mervis C.B., Gray W.D., Johnson D.M., Boyes-Braem P.* Basic objects in natural categories. *Cogn. Psychol.* 1976. 8 (3): 382–439.
- Schmidt F., Schmidt T.* Response control by primes, targets, and distractors: from feedforward activation to controlled inhibition. *Psychol. Res.* 2021. 85: 195–213.
- Taniguchi K., Kuraguchi K., Takano Y., Itakura S.* Object categorization processing differs according to category level: Comparing visual information between the basic and superordinate levels. *Front. Psychol.* 2020. 11: 501.
- Vanmarcke S., Calders F., Wagemans J.* The time-course of ultrarapid categorization: the influence of scene congruency and top-down processing. *I-Persept.* 2016. 7 (5): 2041669516673384.
- Wu C.T., Crouzet S.M., Thorpe S.J., Fabre-Thorpe M.* At 120 msec you can spot the animal but you don't yet know it's a dog. *J. Cogn. Neurosci.* 2015. 27 (1): 141–149.

## BASIC AND SUPERORDINATE IMAGE CATEGORIZATION. INFLUENCE OF THE CONGRUENCE DEGREE AND TEMPORAL PARAMETERS OF PREVIOUS STIMULUS PRESENTATION

N. Yu. Gerasimenko<sup>a, #</sup>, A. B. Kushnir<sup>a</sup>, and E. S. Mikhailova<sup>a</sup>

<sup>a</sup>*Institute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

<sup>#</sup>*e-mail: nataliagerasimenko@gmail.com*

The influence of temporal characteristics of mask presentation on performance in basic and superordinate image categorization tasks was investigated in young healthy subjects using a forward masking model. The masks could be congruent, noncongruent, or semantically neutral to the stimulus images. In the first series of experiments, the influence of stimulus onset asynchrony (SOA, the time interval between the onset of the mask and the onset of the stimulus) was studied. SOA varied from 100 to 350 ms in steps of 50 ms, whereas mask duration remained unchanged and equaled 100 ms. In the second series, the influence of mask duration was investigated. It varied from 100 to 250 ms in steps of 50 ms, while SOA remained constant at 250 ms. It was found that superordinate categorization was performed faster. This could be due to the fact that superordinate categorization involves a low-frequency information of stimulus description that is rapidly transmitted through the magnocellular visual pathway. The basic categorization was more sensitive to the temporal properties of the mask and its category. Changes in SOA had a stronger effect than those in mask duration. Assuming that SOA changes affect the early perceptual phase of stimulus processing, the sensitivity of this phase to irrelevant information seems to be reflected in the stronger influence of SOA changes on basic categorization compared to superordinate categorization.

**Keywords:** human, vision, categorization, forward masking, priming, stimulus onset asynchrony, duration