

Мозговые корреляты зрительного воображения при решении задач на визуализацию скрытой части объекта (в фМРТ-исследовании)*

В. П. Иванушко^{1а}, В. С. Василенко^{1,2},
Е. А. Мершина^{1,3}, Е. В. Печенкова¹

¹ Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»,
Российская Федерация, 101000, Москва, ул. Мясницкая, 20

² Российская академия народного хозяйства и государственной службы
при Президенте Российской Федерации,
Российская Федерация, 119571, Москва, пр. Вернадского, 84

³ Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова,
Российская Федерация, 119991, Москва, Ленинские горы, 1

Для цитирования: Иванушко В. П., Василенко В. С., Мершина Е. А., Печенкова Е. В. Мозговые корреляты зрительного воображения при решении задач на визуализацию скрытой части объекта (в фМРТ-исследовании) // Вестник Санкт-Петербургского университета. Психология. 2025. Т. 15. Вып. 4. С. 702–715. EDN XHBRSA

Объективная оценка правильности ответов в задачах на объектное зрительное воображение, а также изучение его мозговых коррелятов затрудняются тем, что верифицировать то, как в мысленном образе репрезентированы цвет, текстура или форма, значительно сложнее, чем определить, верно ли в нем представлены пространственные отношения. По этой причине для оценки объектного воображения существует много самоотчетных методик, но недостаточно тестовых. Мы разработали модификацию задачи с хвостами животных (Animal Tail Task), в которой участник должен определять длину хвоста животного относительно его тела. Было добавлено контрольное условие с контуром-подсказкой, который дает участнику достаточно информации, чтобы решить задачу, не прибегая к объектному воображению. Задачи были апробированы в поведенческом онлайн-исследовании ($n = 26$) и в эксперименте с фМРТ ($n = 13$). Полученные результаты говорят о том, что при выполнении задач происходит мысленное сканирование зрительных образов. Об этом свидетельствует зависимость времени ответа от длины хвоста животного в обоих экспериментах. Мозговые корреляты мысленного сканирования включали зоны, расположенные по вентральному пути обработки зрительной информации. В то же время задача с хвостами животных не дает однозначных данных для различения мозговых коррелятов объектного и пространственного воображения. В нашей модификации это было связано в первую очередь с активными процессами обследования контуров-подсказок. Специфическая активация в дорсолатеральной префронтальной коре, полученная в обоих условиях, может быть проинтерпретирована не только как коррелят порождения мысленных образов, но и как возможное различие между мозговыми механизмами обследования мысленного образа

* Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда, проект № 23-28-01561.

^а Автор для корреспонденции.

© В. П. Иванушко, В. С. Василенко, Е. А. Мершина, Е. В. Печенкова, 2025

и реальной зрительной сцены. Прояснение этого вопроса представляется перспективным для дальнейших исследований.

Ключевые слова: зрительное воображение, объектное воображение, вентральный путь обработки зрительной информации, задача с хвостами животных, фМРТ.

Введение

Зрительное воображение — это процессы формирования и преобразования зрительных мысленных образов (представлений) в отсутствие непосредственного воздействия соответствующих стимулов на зрительную систему (Farah et al., 1988). Процессы зрительного воображения носят квазиперцептивный характер (то есть переживание образов представления имеет сходство с перцептивным опытом), но не определяются текущей стимуляцией сетчатки (человек может представлять не тот предмет, который он видит) и могут взаимодействовать с процессами восприятия (Marks, 2019; Keogh, Pearson, 2014). В частности, мысленные образы могут облегчать восприятие или, наоборот, вызывать интерференцию, что может объясняться адаптацией или слабой стимуляцией общих для обеспечения этих процессов нейронов. Обратную ситуацию — опору процессов воображения на текущие процессы восприятия — иллюстрирует, например, тест креативности Торренса, в котором участнику предлагается придумать и нарисовать различные картинки на основе фрагментов изображения (Torrance, 1972).

Процессы зрительного воображения подразделяют на две группы, оперирующие объектными и пространственными репрезентациями. Объектное воображение имеет дело с репрезентациями изобразительных признаков (цвет, текстура, форма представляемых объектов), а пространственное — с репрезентациями пространственных отношений (размер, длина, взаимное расположение, расположение относительно наблюдателя и т. п.) между представляемыми объектами или частями одного объекта. Предположительно, имеются различия в мозговом субстрате этих двух аспектов воображения: объектное воображение опирается на вентральный путь обработки зрительной информации в мозге (путь «что»), а пространственное — на дорсальный путь (путь «где») (Freud et al., 2017).

Для оценки зрительного воображения используются субъективные шкалы и тестовые методики. При этом наблюдается дисбаланс методов, доступных для изучения объектного и пространственного воображения: в литературе представлено мало самоотчетных методик для изучения пространственного воображения и тестовых методик, адресованных объектному воображению (Blazhenkova, 2016). Это связано в числе прочего с тем, что тестовые методики предполагают процедуру верификации создаваемой репрезентации и наличие объективно правильного решения задачи на воображение (Печенкова и др., 2024). Например, в задаче с мысленными часами нужно представить два циферблата, которые показывают разное время, заданное экспериментатором, и оценить, на каком из них угол между стрелками больше. Эта задача требует верификации пространственного соотношения частей мысленного образа и имеет объективно правильный ответ. Репрезентацию изобразительных признаков, таких как цвет, яркость, форма и текстура, сложнее верифицировать, чем пространственные отношения, и поэтому таких задач крайне мало. Одним из примеров подобных задач является методика, требующая от

испытуемого представить и сравнить пары объектов по форме («Похожи ли по форме язык ящерицы и буква q?») (Newman et al., 2007).

Одной из наиболее известных задач с верификацией представлений является задача с хвостами животных (Animal Tail Task), где в каждой пробе называется животное и задается вопрос, какой у него хвост по сравнению с длиной тела — длинный или короткий. Несмотря на то что свойство объекта, которое просят оценить, задается через пространственное отношение, эта методика считается классическим примером задачи, адресованной объектному воображению, поскольку для ее решения испытуемому необходимо представить себе объект целиком, то есть само животное с его хвостом (Farah et al., 1988). Методика активно применялась в нейропсихологических работах 1970–1980-х гг. и зарекомендовала себя при работе с пациентами с локальными поражениями мозга (Pearson et al., 2013).

Таким образом, задача с хвостами животных выступает перспективным кандидатом на роль методики для изучения мозговых механизмов как объектного, так и пространственного воображения. Она дает возможность объективной проверки правильности решения и создания большого количества однотипных задач, что важно для психофизиологических исследований.

В связи с этим мы разработали модификацию задачи с хвостами животных для изучения мозговых коррелятов объектного воображения с помощью функциональной нейровизуализации. Классический вариант задачи с хвостами животных, который использовался в исследованиях 1970–1980-х гг., предполагал воображение по вербальному ключу: исследователь одно за другим по списку называл испытуемому животных, которых было необходимо представить, и фиксировал ответы. О. Блаженкова и коллеги (Blazhenkova et al., 2025) предложили модификацию этой методики, направленную на уменьшение вероятности извлечения ответа из семантической памяти без порождения мысленного образа. Вместо вербального ключа они использовали зрительный стимул — фотографию животного, задняя половина тела которого закрыта черным прямоугольником. Такой зрительный ключ уменьшает опору на вербальное кодирование и стимулирует мысленное достраивание картинки.

Однако для того, чтобы изучить активацию головного мозга, связанную именно с процессами объектного воображения, нам понадобилось также контрольное условие, отличающееся от основного только отсутствием необходимости мысленного достраивания (объектное воображение), но не необходимости мысленно сопоставлять длину хвоста и длину тела животного (пространственное воображение). Поэтому наша дальнейшая модификация включала такое контрольное условие, в котором поверх черного прямоугольника был обозначен белый контур задней половины животного. Данная манипуляция достаточно мала, чтобы сохранить общий облик изображений, но дает достаточно информации, чтобы решить задачу, не прибегая к объектному воображению. Апробация методики была проведена в поведенческом онлайн-исследовании и в эксперименте с фМРТ. В онлайн-исследовании дополнительно собирались оценки знакомости животных для испытуемых, поскольку использование фотографий вместо вербальных ключей не устраняет в полной мере фактор специальных знаний при выполнении предлагаемой задачи.

Мы ожидали, что сопоставление основного (закрытая задняя половина тела животного без контура) и контрольного (с контуром) условий позволит получить

свидетельства функционирования объектного воображения как в поведенческих (различия по точности и времени ответа), так и в нейрофизиологических данных (специфическая для мысленного «достраивания» картинки активация головного мозга). Мы также ожидали обнаружить различия между условиями визуализации скрытой части животных с коротким и с длинным хвостами, которые позволят сделать выводы о потенциальных мозговых коррелятах пространственного воображения и его роли в выполнении предложенной задачи.

Онлайн-исследование

Методы. Участники. В онлайн-исследовании принял участие 31 человек, 27 женщин и 4 мужчины из академического сообщества, средний возраст $M = 21,5$, $SD = 7,4$. Испытуемые были добровольцами, приглашались через социальные сети и давали информированное согласие в электронной форме.

Материалы. В качестве стимульного материала для экспериментального условия использовались 26 изображений животных из методики “Animal Tail Task” О. Блаженковой и коллег¹, по 13 с коротким и с длинным хвостом. Каждое изображение представляет собой цветную фотографию животного на белом фоне, причем задняя половина тела животного закрыта черным прямоугольником. Животное могло быть ориентировано головой как влево, так и вправо. Для контрольного условия были созданы копии изображений, на которых поверх черного прямоугольника был обозначен белый контур задней половины животного (рис. 1). Таким образом, участникам предъявлялись два типа стимулов: без контура и с контуром, в каждом из условий половина животных была с коротким хвостом и половина с длинным, и в каждой из этих групп стимулов были стимулы, в которых задняя часть располагалась слева и справа. Поскольку одни и те же животные использовались и в основных, и в контрольных стимулах, общий набор из 52 стимулов был разделен на два набора по 26 (13 основных, 13 контрольных), внутри которых одно и то же животное не повторялось. Таким образом одно и то же животное показывалось участнику только один раз — с контуром или без, что позволяло избежать эффекта подсказки. Финальная версия эксперимента, реализованного в PsychoPy, размещена на платформе OSF².

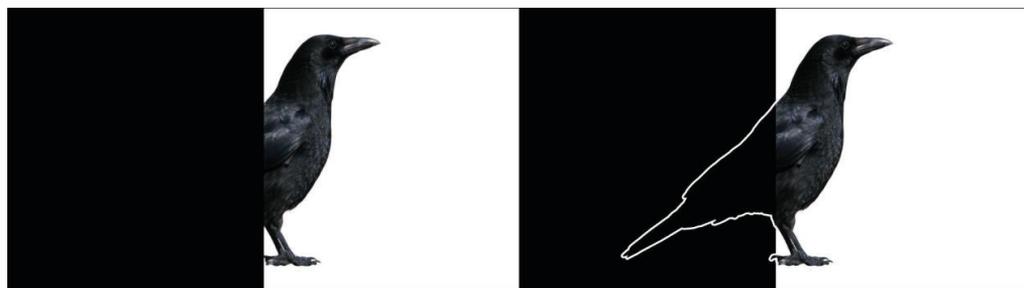


Рис. 1. Пример стимульного материала для задач с хвостами животных: слева — основное экспериментальное условие (без контура); справа — контрольное условие (с контуром)

¹ Animal Tails Task. URL: <https://osf.io/834me/> (дата обращения: 20.01.2026).

² Moscow CogLab Object Imagery. URL: <https://osf.io/wya4u/> (дата обращения: 20.01.2026).

Процедура. Онлайн-исследование включало два этапа: заполнение электронной формы, включавшей информированное согласие и демографические вопросы, и основной эксперимент на платформе Pavlovia³. Прохождение исследования было возможно только с компьютера, мобильные устройства исключались. Участники псевдослучайным способом (на основании даты рождения) распределялись в одну из двух подгрупп выборки, различавшихся наборами стимулов.

В основном эксперименте участникам демонстрировали изображения животных со скрытой задней частью, на основе которых им было необходимо решить, является ли хвост коротким или длинным относительно размеров тела животного. Хвост считался длинным, если он был длиннее половины длины тела, и коротким, если короче половины длины тела. Ответ давался путем нажатия кнопок «А» (длинный) или «D» (короткий). Процедура включала 26 проб для каждого человека: 13 основных и 13 контрольных стимулов, предъявлявшихся в случайном порядке. Изображения предъявлялись по одному, время на одну пробу было ограничено 6,5 с, но участники могли свободно переходить к следующей задаче при ответе. По завершении пробы в течение 1 с показывался фиксационный крест (межпробный интервал). После каждой пробы участникам было необходимо оценить по шкале от 1 до 5, насколько хорошо они помнят, как выглядит животное (оценка знакомости). Оценка вносилась через клик мыши на визуальной шкале. Инструкция для участников: «В этом задании Вы увидите 26 изображений животных со скрытой задней половиной тела. Вам нужно решить, имеет ли животное короткий или длинный хвост относительно размеров его тела. Хвост считается ДЛИННЫМ, если он длиннее половины длины тела. Хвост считается КОРОТКИМ, если он короче половины длины тела. На некоторых изображениях половина животного будет полностью скрыта, а на других будет обозначена контуром. Ваша задача одна и та же — представить животное и определить, его хвост ДЛИННЫЙ или КОРОТКИЙ. Если хвост ДЛИННЫЙ — нажмите кнопку А. Если хвост КОРОТКИЙ — нажмите кнопку D. На ответ по одному изображению дается 6,5 секунд. После каждого изображения Вам также нужно КЛИКОМ МЫШКИ отметить, как хорошо вы помните это животное по шкале от 1 до 5, где 1 — совсем не помните, 5 — очень хорошо помните».

Результаты. Анализ поведенческих данных проводился в среде R с помощью программ RStudio и Jamovi 2.3.21. После исключения участников, некорректно заполнивших форму или не прошедших полностью все этапы исследования (5), исключения проб, на которые не было получено ответа (40), и исключения выбросов по времени ответа относительно медианного абсолютного отклонения ($\pm 3 \cdot \text{MAD}$, $\text{MAD} = 0,95$ с) в основной анализ данных вошли 26 человек (из них 23 женщины, 3 мужчины, средний возраст — 21,5 лет, стандартное отклонение — 7,9), 630 наблюдений по оценке знакомости животного, времени и точности ответа.

Среднее время ответа в основном условии, без контура, составляло 2,06 с ($SD = 0,93$), в контрольном условии с контурами — 2,08 с ($SD = 1,10$), различия не были статистически значимы ($t = -0,228$, $p = 0,820$). Средняя точность ответа составила 65,8 % в основном условии и 68,2 % — в контрольном.

Для оценки влияния знакомости животного и типа стимула на время ответа мы использовали смешанную линейную модель, на точность ответа — бинарную

³ Pavlova. URL: <https://pavlovia.org/> (дата обращения: 20.01.2026).

логистическую регрессию с пошаговым удалением предикторов на основе отношения правдоподобия.

В смешанную модель были включены факторы условия (основное или контрольное с контуром), длины хвоста животного (длинный или короткий), расположения закрытой части животного (слева или справа), оценки знакомости животного и фактор участника. Индивидуальный фактор участника выступал как группирующий, оценка знакомости — как случайный. Статистика качества модели: $AIC = 1652,846$, $BIC = 1761,012$, модель сходится с логарифмическим отношением правдоподобия $-512,217$. Были обнаружены основные эффекты фактора «Длина хвоста»: $F(1; 593,3) = 31,6$, $p < 0,001$, $B = -0,385$, и «Оценка знакомости животного»: $F(4; 10,9) = 23,9$, $p < 0,001$, $B = -0,303$. В то же время фактор «Условие» не был значимым: $F(1; 513,3) = 0,118$, $p = 0,732$. Время ответа было меньше, если хвост животного был коротким, если закрытая часть была слева и при возрастании степени знакомства с животным. При анализе точности ответа с помощью бинарной логистической регрессии ни условие, ни оценка знакомости животного, ни расположение закрытой части не выступили значимыми предикторами. Значимым предиктором оказалась длина хвоста животного ($B = 0,752$, $p < 0,001$): было больше ошибок, если хвост животного длинный.

фМРТ-исследование

Методы. Участники. В фМРТ-исследовании приняли участие 13 добровольцев из академического сообщества г. Москвы, 12 женщин и 1 мужчина, средний возраст $M = 22,5$, $SD = 4,3$. Все участники были праворукими, согласно Эдинбургскому опроснику (Oldfield, 1971), сообщили об отсутствии психических или неврологических заболеваний, затрагивающих центральную нервную систему, не имели противопоказаний к МРТ, имели нормальную или скорректированную остроту зрения. Все добровольцы прошли инструктаж по технике безопасности в кабинете МРТ и дали письменное информированное согласие на участие в исследовании.

Материалы. Стимульный материал был аналогичен тому, что использовался в онлайн-исследовании: для экспериментального условия использовались 24 изображения животных из методики “Animal Tail Task” О. Блаженковой (из оригинального набора были взяты все стимулы, кроме “Giraffe” и “Lamb”), по 12 животных с коротким и длинным хвостом, половина из которых была ориентирована влево и половина вправо, а также аналогичные 24 изображения для контрольного условия, модифицированные путем добавления контура задней половины животного. В отличие от онлайн-исследования, каждому участнику предъявлялся полный набор стимулов, то есть длина хвоста каждого животного оценивалась два раза — один раз в основном условии и один раз в контрольном с контурами. Повторы использовались для уравнивания физических характеристик изображений, используемых в двух условиях, и были сбалансированы таким образом, что каждому участнику половина стимулов первый раз предъявлялась в основном условии, а половина — в контрольном; один и тот же стимул половине участников предъявлялся первый раз в основном условии, а другой половине — в контрольном.

Процедура. Во время сканирования участникам показывали изображения животных со скрытой задней частью, на основе которых им было необходимо решить,

имеет животное короткий или длинный хвост относительно размеров его тела. Хвост считался длинным, если он был длиннее половины длины тела, и коротким, если короче половины длины тела. Ответ давался путем нажатия кнопок «А» (короткий) или «В» (длинный). Эксперимент проводился в два подхода, каждый включал 24 пробы (12 основных и 12 контрольных), всего 48 проб. Животные в одном подходе не повторялись, чтобы избежать эффекта подсказки. Животное, которое в первом подходе встречалось в основном условии, во втором подходе предъявлялось в контрольном, и наоборот.

Инструкция для участников фМРТ-исследования: «В этом задании Вы увидите 24 изображения животных. Вам нужно представить скрытую часть и решить, имеет ли животное относительно короткий или длинный хвост, пропорциональный размеру его тела. Хвост считается ДЛИННЫМ, если он длиннее половины длины тела. Хвост считается КОРОТКИМ, если он короче половины длины тела. Если хвост КОРОТКИЙ — кнопка А. Если хвост ДЛИННЫЙ — кнопка В».

В каждой пробе время предъявления изображения составляло 6,5 с, независимо от времени ответа; после каждого изображения показывался фиксационный крест на 1 с. Пробы, относящиеся к основному (О) и контрольному (К) условию, а также 15-секундные периоды покоя (П), использовавшиеся для записи фоновой активности мозга, были организованы по блочному плану фМРТ-исследования и чередовались по схеме П-О-К-П-К-О-П-... Конкретные стимулы в рамках этой последовательности подбирались в случайном порядке для каждого участника. Несмотря на то что среднее время ответа в онлайн-исследовании было менее 2 с, в фМРТ-исследовании использовалось длительное время предъявления одной задачи, которое гарантировало обнаружение связанного с задачей прироста BOLD-сигнала.

Общее время одного подхода, включая финальный период фонового сканирования, составляло 375 с. В ходе эксперимента записывались время и правильность ответа.

Оборудование и параметры сканирования. Сканирование проводилось в Медицинском научно-образовательном центре МГУ им. М. В. Ломоносова на томографе Siemens Vida с индукцией магнитного поля 3Т с использованием стандартной 64-канальной головной катушки. С помощью мультиполосной эхопланарной импульсной последовательности (SMS EPI) регистрировались функциональные T2*-взвешенные изображения с параметрами: SMS Factor=4, TR=1500 мс, TE=30 мс, FA=68°, сторона вокселя 2,5 мм, поле обзора 210×210×150 мм, 60 срезов, ориентированных через переднюю и заднюю комиссуры. Во время двух подходов выполнения задачи регистрировались две серии изображений с противоположными направлениями фазового кодирования (AP и PA) для компенсации метрических искажений и выпадения МР-сигнала в базальных отделах головного мозга. За время каждого подхода регистрировалось по 260 функциональных объемов, первые 10 объемов не включались в обработку данных. Функциональные изображения дополнялись анатомическими T1-взвешенными изображениями со стороны вокселя 0,9 мм и картами неоднородности магнитного поля, полученными с помощью стандартной последовательности gre_fieldmap.

Зрительные стимулы предъявлялись участникам на МР-совместимом мониторе, который они видели через систему зеркал, закрепленную на головной катушке. Угловой размер экрана составлял 30°. Регистрация ответов производилась с помощью МР-совместимого пульта с кнопками. Использовалось оборудование фирмы InVivo.

Анализ данных фМРТ. Анализ данных фМРТ проводился с помощью пакета SPM12 с использованием стандартной схемы предобработки изображений, которая включала коррекцию артефактов движения головы и метрических искажений на основе карт неоднородности магнитного поля (Realign & Unwarp), пространственную корегистрацию анатомических и функциональных изображений, пространственную нормализацию изображений — приведение их к пространству MNI и размеру воксела $2 \times 2 \times 2$ мм на основе результатов сегментации анатомического изображения на объемы, соответствующие отдельным тканям, — и сглаживание с помощью фильтра Гаусса ($FWHM = 6 \times 6 \times 6$ мм).

Статистически значимый прирост BOLD-сигнала выявлялся на основе общей линейной модели. Поскольку было обнаружено различие времени ответа между основным и контрольным условиями, то в каждой пробе оно было внесено в модель в качестве параметрического модулятора функции гемодинамического ответа, что позволяет избежать артефактного увеличения активации для условий с большим временем реакции (Mumford et al., 2024). Основное и контрольное условия эксперимента, длина хвоста и расположение закрытой части животного также были введены в модель в качестве модуляторов, а параметры движения головы — в качестве регрессоров. Оценивались контрасты экспериментального (представление) и контрольного (без представления, контуры) условий, короткого и длинного хвоста и расположения закрытой части животного слева и справа. Индивидуальные карты активации строились внутри эксплицитной маски объема мозга, включавшей сегменты серого вещества, белого вещества и спинномозговой жидкости. Поправка на множественные сравнения осуществлялась на уровне кластера. Групповые карты активации строились со статистическими порогами $p < 0,005$ на уровне воксела и $pFDR < 0,05$ на уровне кластера. Далее на полученные групповые карты накладывалась групповая маска серого вещества, построенная на основе нормализованных сегментов серого вещества всех испытуемых, и в итоговой карте учитывались только кластеры, расположенные внутри этой маски.

Результаты. Поведенческие данные. В анализ поведенческих данных фМРТ-эксперимента включены результаты 13 человек, было получено 624 наблюдения по времени ответа и его правильности. После исключения проб, на которые не было получено ответа (9), и выбросов по времени ответа относительно медианного абсолютного отклонения ($\pm 3 * MAD$, $MAD = 0,71$) в анализ вошли 566 наблюдений. Для стимулов основного условия без контура и контрольного с контуром среднее время ответа составило 1,79 с ($SD = 0,65$) и 1,65 с ($SD = 0,65$) соответственно. Средняя правильность ответов в основном условии — 86,1 %, в контрольном — 81,4 %. Минимальная средняя правильность ответов среди участников — 69,6 %, максимальная — 93,8 %. Для оценки влияния независимых переменных на время ответа использовался многофакторный дисперсионный анализ, на точность ответа — бинарная логистическая регрессия.

При анализе времени ответа были обнаружены основные эффекты факторов «Длина хвоста»: $F(1, 419) = 10,583$, $p = 0,001$, $\eta^2 p = 0,025$, «Условие»: $F(1, 419) = 10,586$, $p = 0,001$, $\eta^2 p = 0,025$, «Подход»: $F(1, 419) = 8,389$, $p = 0,004$, $\eta^2 p = 0,020$, «Участник»: $F(12, 419) = 9,703$, $p < 0,001$, $\eta^2 p = 0,217$, а также взаимодействий «Длина хвоста» \times «Расположение закрытой части»: $F(1, 482) = 4,075$, $p = 0,044$, $\eta^2 p = 0,010$, «Условие» \times «Расположение закрытой части»: $F(1, 482) = 11,328$, $p > 0,001$, $\eta^2 p = 0,026$. Про-

ведение попарных сравнений с поправкой Тьюки показало, что время ответа для коротких хвостов было меньше, чем для длинных, и участники быстрее отвечали

Таблица. Результаты группового анализа активации в контрастах между различными условиями

Контраст	Кластер, №	Объем кластера, мм ³	Центр масс, координаты MNI			Основная анатомическая локализация по атласу Harvard — Oxford
			x	y	z	
Условие основное > контрольное	1	1224	-33	32	30	Средняя лобная извилина, L Лобный полюс, L
Условие контрольное > основное	1	136 296	5	-74	1	Латеральная затылочная кора, LR Затылочный полюс, LR Веретеновидная извилина, LR Язычная извилина, LR Верхняя теменная доля, R
	2	3896	31	28	53	Средняя лобная извилина, R Верхняя лобная извилина, R Лобный полюс, R
Закрытая половина справа > слева	1	5728	-11	-90	11	Затылочный полюс, L Шпорная борозда, L
	2	1952	6	53	26	Верхняя лобная извилина, R Параингулярная кора, R
Хвост длинный > короткий	1	10856	-33	-21	63	Прецентральная извилина, L Постцентральная извилина, L Верхняя лобная извилина, L
	2	6064	26	-86	-9	Веретеновидная извилина, R Затылочный полюс, R Латеральный затылочный комплекс, R
	3	7256	-18	-93	-1	Затылочный полюс, L Веретеновидная извилина, L Латеральный затылочный комплекс, L

в контрольном условии с контуром. Время ответа в первом подходе было значимо больше, чем во втором. Участники также быстрее отвечали, если контур на закрытой части животного был слева: значимыми оказались различия «основное условие, закрыто слева» — «контрольное условие, закрыто слева» (Mean Difference = 0,344, $t = 4,951$, $p < 0,001$) и «основное условие, закрыто справа» — «контрольное условие, закрыто слева» (Mean Difference = 0,194, $t = 2,74$, $p = 0,032$). При анализе правильности ответа как значимый был оценен предиктор «Длина хвоста» ($B = 0,730$, $p = 0,002$). Точность ответов уменьшалась, если у животного был длинный хвост.

Данные фМРТ. Координаты и анатомическая локализация кластеров активации, полученные в различных контрастах, представлены в таблице, визуализация результатов (карты активации) — на рис. 2. В условии с контурами по сравнению с основной задачей отмечается значимо более выраженная активация в зрительной системе (в затылочной и базальной височной коре билатерально, а также

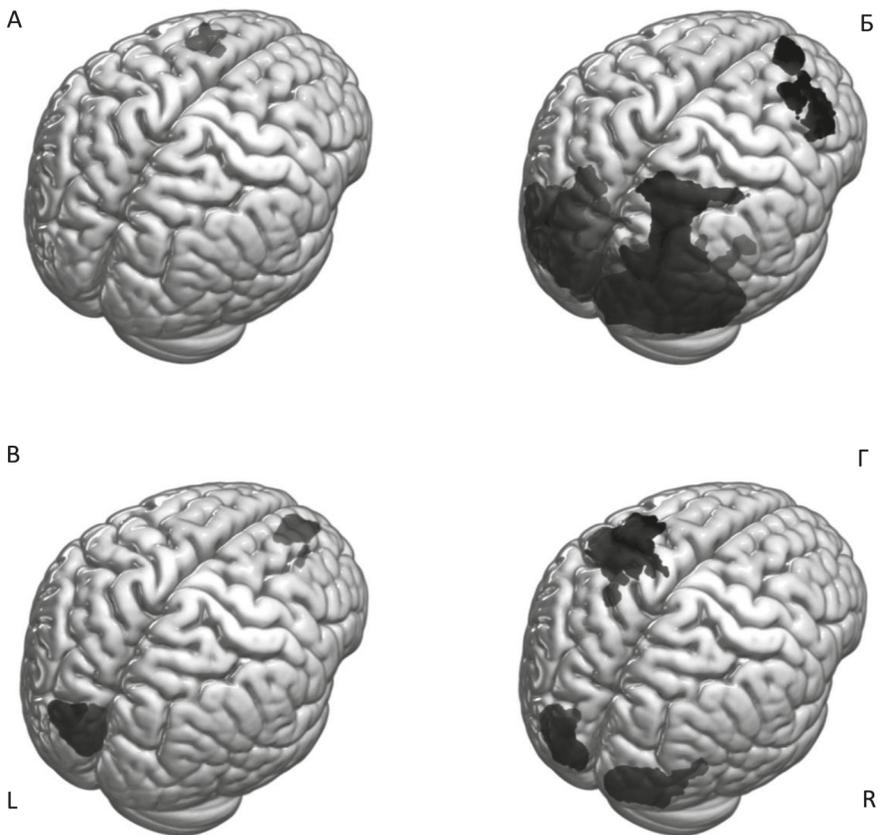


Рис. 2. Визуализация карт активации, соответствующих четырем контрастам, в которых были получены статистически значимые различия активности мозга: А — условие основное без контура > контрольное с контуром; Б — условие контрольное с контуром > основное без контура; В — расположение закрытой части справа > слева; Г — хвост длинный > короткий. Карты активации наложены на стандартное изображение мозга в пространстве MNI

в теменной коре справа). В основной задаче по сравнению с контрольным условием с контурами обнаруживается более выраженная активация в левой дорсолатеральной префронтальной коре (в средней лобной извилине и в области лобного полюса, область поля 9 по Бродману). В задачах с контурами по сравнению с основными наблюдалась область обширной активации в зрительной системе, как по вентральному (билатерально), так и по дорсальному (справа) путям обработки зрительной информации, а также кластер активации в правой дорсолатеральной префронтальной коре (средней лобной извилине, верхней лобной извилине, области лобного полюса, область поля 46 по Бродману). В условии с длинными хвостами животных по сравнению с короткими наблюдалась активация в области первичной моторной и соматосенсорной коры слева, в первичной зрительной коре и по вентральному пути обработки зрительной информации билатерально.

В условии с закрытой частью животного справа (по сравнению с расположением слева) наблюдалась активация в первичной зрительной коре слева и в орбито-фронтальной коре справа.

Обсуждение результатов

Задача определения длины хвоста животного предполагает участие как объектного (дистраивание картинки), так и пространственного (сопоставление длины хвоста и длины тела) воображения. Предполагалось, что в нашей модификации этой задачи пространственный компонент будет задействован и в основном (без контура), и в контрольном (с контуром) условиях, тогда как объектный (дистраивание образа животного до целого) — только в основном. Если бы время ответа оказалось значимо больше в основном условии по сравнению с контрольным, это могло бы свидетельствовать о том, что в отсутствие подсказки-контура происходит дополнительный процесс порождения мысленного образа. Однако такой результат был получен только в фМРТ-исследовании, тогда как в онлайн-исследовании различий по времени ответа между основным и контрольным условиями обнаружено не было. Средняя продуктивность участников также различалась между экспериментами в условиях онлайн (67 %) и фМРТ (84 %), что может объясняться как наличием повторов стимулов в методике для фМРТ, так и индивидуальными различиями участников и их мотивацией. Уменьшение времени ответа в случае большей степени знакомства с животным может говорить как о более легком извлечении образа из памяти, так и о том, что в случае высокой степени знакомства решение принималось на основе данных, извлеченных из семантической памяти без работы воображения.

В то же время предположению, что у участников онлайн-эксперимента решение задачи протекало без участия мысленных образов, противоречит то, что у них, как и у участников фМРТ-эксперимента, наблюдалась зависимость времени и точности ответа от длины хвоста животного. С точки зрения теории аналоговых мысленных образов (Kosslyn, 1995), такие различия свидетельствуют о процессе мысленного обследования (сканирования) образа. Поэтому возможно альтернативное объяснение: участники онлайн-исследования дистраивали образ не только в основном условии, но и в условии с контуром.

Об участии объектного воображения в фМРТ-исследовании свидетельствуют не только различия во времени и точности ответов в зависимости от условия, но и пост-экспериментальные интервью, согласно которым участники испытывали трудности, если они не могли вспомнить внешний вид животного или «измерить» хвост у конкретного вида. В то же время полученные данные активации мозга не позволяют сделать однозначных выводов о мозговых коррелятах объектного и пространственного зрительного воображения.

С одной стороны, весьма интересно, что мозговые корреляты гипотетической аналоговой операции мысленного обследования картинки (активация в контрасте «хвост длинный > короткий») были обнаружены не во фронтопаритетальной сети и не по дорсальному пути обработки зрительной информации, а по вентральному пути, что может быть свидетельством вовлечения объектного воображения. С другой стороны, возможная активация по вентральному пути

в контрасте «условие основное > контрольное» оказалась замаскирована активацией зрительной системы в контрольном условии, вызванной, по-видимому, интенсивным обследованием контура-подсказки. Об этом же свидетельствует и лево-правая асимметрия результатов, соответствующая направлению чтения в русском языке (время ответа меньше, если хвост слева, и активация зрительной коры в проекции правого полушария зрения значимо больше выражена, если хвост справа). Наблюдаемое взаимодействие условия и расположения закрытой части (время ответа значимо меньше, если на изображении есть контур и он слева) также показывает, что обследование соответствующей половины изображения протекает интенсивнее при наличии контура. Примечательно, что при этом участники ошибались чаще, чем когда они использовали только воображение. Однако непосредственное описание характера обследования изображений в процессе выполнения задачи с хвостами животных может быть получено только в исследовании с регистрацией движений глаз.

Наконец, асимметрия активации дорсолатеральной префронтальной коры в основном и контрольном условиях (слева при воображении без контура, справа в условиях восприятия подсказки-контура) также может быть проинтерпретирована как коррелят различия между процессами обследования мысленного образа и реальной зрительной сцены, а не как коррелят порождения образа как такового. Также отметим, что специфическая активация дорсолатеральной префронтальной коры в двух условиях затрагивает различные ее зоны в левом и правом полушариях, не являющиеся гомологами.

Выводы

В двух экспериментах, проведенных онлайн и с помощью метода фМРТ, были получены свидетельства о том, что при выполнении задачи с хвостами животных происходит порождение и обследование (сканирование) зрительных образов. Об этом свидетельствует в первую очередь тот факт, что в обоих экспериментах и во всех условиях время ответа зависит от длины хвоста животного. Мозговые корреляты этой гипотетической операции обследования образов включали зоны, расположенные по вентральному пути обработки зрительной информации.

В то же время задача с хвостами животных не дает однозначных данных для различения мозговых коррелятов объектного и пространственного воображения и в целом для объективной оценки именно объектного, а не пространственного аспекта мысленных образов. В полученных результатах это было связано в первую очередь с активными процессами обследования стимулов-подсказок в нашей модификации методики. Обнаруженная специфическая активация в дорсолатеральной префронтальной коре может быть проинтерпретирована не только как коррелят порождения мысленных образов, но и как возможное различие между мозговыми механизмами обследования мысленного образа и реальной зрительной сцены. Прояснение этого вопроса представляется перспективным для дальнейших исследований.

Благодарности

Авторы признательны всем участникам исследования, а также М. Е. Пчелинцевой, Е. Я. Сучковой и Е. А. Шапошникову за помощь в проведении эксперимента и А. В. Пилечевой за крайне полезное обсуждение работы.

Литература/References

- Blazhenkova, O., Kanero, J., Duman, I., Umitli, O. (2025). Read and imagine: Visual imagery experience evoked by first versus second language. *Psychological Reports*, 128 (2), 1067–1100. <https://doi.org/10.1177/00332941231158059>
- Blazhenkova, O. (2016). Vividness of object and spatial imagery. *Perceptual and Motor Skills*, 122 (2), 490–508. <https://doi.org/10.1177/0031512516639431>
- Farah, M. J., Hammond, K. M., Levine, D. N., Calvanio, R. (1988). Visual and spatial mental imagery: Dissociable systems of representation. *Cognitive Psychology*, 20 (4), 439–462. [https://doi.org/10.1016/0010-0285\(88\)90012-6](https://doi.org/10.1016/0010-0285(88)90012-6)
- Freud, E., Ganel, T., Shelef, I., Hammer, M. D., Avidan, G., Behrmann, M. (2017). Three-dimensional representations of objects in dorsal cortex are dissociable from those in ventral cortex. *Cerebral Cortex*, 27 (1), 422–434. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhv229>
- Keogh, R., Pearson, J. (2014). The sensory strength of voluntary visual imagery predicts visual working memory capacity. *Journal of Vision*, 14 (12), 1–12. <https://doi.org/10.1167/14.12.1>
- Kosslyn, S. M. (1995). Image and brain: The resolution of the imagery debate. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 7 (3), 415–420. <https://doi.org/10.1162/jocn.1995.7.3.415>
- Marks, D. F. (2019). I am conscious, therefore, I am: Imagery, affect, action, and a general theory of behavior. *Brain Sciences*, 9 (5), 107. <https://doi.org/10.3390/brainsci9050107>
- Mumford, J. A., Bissett, P. G., Jones, H. M., Shim, S., Rios, J. A. H., Poldrack, R. A. (2024). The response time paradox in functional magnetic resonance imaging analyses. *Nature Human Behaviour*, 8 (2), 349–360. <https://doi.org/10.1038/s41562-023-01760-0>
- Newman, S. D., Lee, D., Bates, L. C. (2007). The timecourse of activation within the cortical network associated with visual imagery. *The Open Neuroimaging Journal*, 1, 1–9. <https://doi.org/10.2174/1874440000701010001>
- Oldfield, R. C. (1971). The assessment and analysis of handedness: The Edinburgh inventory. *Neuropsychologia*, 9 (1), 97–113. [https://doi.org/10.1016/0028-3932\(71\)90067-4](https://doi.org/10.1016/0028-3932(71)90067-4)
- Pearson, D. G., Deeprose, C., Wallace-Hadrill, S. M., Burnett Heyes, S., Holmes, E. A. (2013). Assessing mental imagery in clinical psychology: A review of imagery measures and a guiding framework. *Clinical Psychology Review*, 33 (1), 1–23. <https://doi.org/10.1016/j.cpr.2012.09.001>
- Pechenkova, E. V., Rachinskaya, M. E., Ivanushko, V. P., Vasilenko, V. S., Mershina, E. A. (2024). Review of experimental tasks for the study of object visual imagery and their applicability in psychophysiological research. *Voprosy psikhologii*, 6, 105–115. (In Russian)
- Torrance, E. P. (1972). Predictive validity of the Torrance tests of creative thinking. *Journal of Creative Behavior*, 6 (4), 236–262.

Статья поступила в редакцию 3 декабря 2024 г.;
рекомендована к печати 11 декабря 2024 г.

Контактная информация:

Иванушко Вера Павловна — магистрант; <https://orcid.org/0000-0002-2074-6024>,
ivanushkovera@gmail.com

Василенко Варвара Сергеевна — магистр; <https://orcid.org/0009-0004-4186-323X>,
vvasil5664@gmail.com

Мершина Елена Александровна — канд. мед. наук; <https://orcid.org/0000-0002-1266-4926>,
elena_mershina@mail.ru

Печенкова Екатерина Васильевна — канд. психол. наук; <https://orcid.org/0000-0003-3409-3703>,
epchenkova@hse.ru

Neural correlates of visual mental imagery in a task requiring visualization of a hidden part of an object (an fMRI study)*

V. P. Ivanushko^{1a}, V. S. Vasilenko^{1,2}, E. A. Merzhina^{1,3}, E. V. Pechenkova¹

¹ HSE University,

20, ul. Myasnitskaya, Moscow, 101000, Russian Federation

² Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration,

84, pr. Vernadskogo, Moscow, 119571, Russian Federation

³ Lomonosov Moscow State University,

1, Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russian Federation

For citation: Ivanushko V.P., Vasilenko V.S., Merzhina E. A., Pechenkova E. V. Neural correlates of visual mental imagery in a task requiring visualization of a hidden part of an object (an fMRI study). *Vestnik of Saint Petersburg University. Psychology*, 2025, vol. 15, issue 4, pp. 702–715. EDN XHBRSA (In Russian)

It is more difficult to verify imagined color, texture, or shape than spatial relations, which hinders objective assessment of visual imagery tasks performance as well as research on neural correlates of the object mental imagery. For this reason, there are many self-report methods but not enough tests for assessing object mental imagery. We developed a modification of the Animal Tail Task, in which participants report the length of an animal's tail relative to its body. A control condition with a contour cue was added, which provides participants with enough information to solve the task without imagery. The tasks were tested in a behavioral online study ($n=26$) and in an fMRI experiment ($n=13$). The dependence of response time on the length of the animal's tail in both experiments indicates that the task involves scanning of visual mental images. The neural correlates of mental scanning included areas located along the ventral visual pathway. At the same time, the Animal Tail Task does not provide unequivocal data to distinguish between the neural correlates of object and spatial imagery. In our modification of the task, this confound may be attributed to active examination of the contour cues. The condition-specific activation in the dorsolateral prefrontal cortex can be interpreted not only as a correlate of mental image generation but also as a clue to a possible distinction between the brain mechanisms involved in inspecting a mental image and a real visual scene. Clarifying this issue is promising for further research.

Keywords: visual imagery, object imagery, ventral visual pathway, Animal Tail Task, fMRI.

Received: December 3, 2024

Accepted: December 12, 2024

Authors' information:

Vera P. Ivanushko — Master Student; <https://orcid.org/0000-0002-2074-6024>,

ivanushkovera@gmail.com

Varvara S. Vasilenko — Master; <https://orcid.org/0009-0004-4186-323X>, vvasil5664@gmail.com

Elena A. Merzhina — PhD in Medicine; <https://orcid.org/0000-0002-1266-4926>,

elena_merzhina@mail.ru

Ekaterina V. Pechenkova — PhD in Psychology; <https://orcid.org/0000-0003-3409-3703>,

epechenkova@hse.ru

* The study was supported by a Russian Science Foundation grant, project no. 23-28-0156.

^a Author for correspondence.