Научная статья
УДК 612.821.6
https://doi.org/10.21702/rpj.2026.2.7

Динамика актуализации индивидуального опыта, связанного с конкретными и абстрактными понятиями: фМРТ анализ

Адита В. Пилечева[1,2,3*], Марина Г. Колбенева[1], Евгений А. Шапошников[1,3], Елена А. Мершина[3], Валентин Е. Синицын[3], Юрий И. Александров[1]

[1] Институт психологии РАН, Москва, Российская Федерация

[2] НИЦ «Курчатовский институт», Москва, Российская Федерация

[3]МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Российская Федерация

[*]Почта ответственного автора: Adita2010@yandex.ru

Аннотация

Введение. В данной статье представлены результаты исследования мозговой активности, полученные в процессе анализа актуализации индивидуального опыта, связанного с понятиями, обозначающими разные модальности (зрительную, слуховую, тактильную, вкусовую, обонятельную) и с абстрактными понятиями. С позиций системно-эволюционной теории, индивидуальный опыт представлен в памяти функциональными системами, различающимися временем их формирования в онтогенезе и степенью дифференцированности. Гипотеза исследования состояла в том, что актуализация опыта, связанного с абстрактными понятиями, опирается на более поздно сформированные и высокодифференцированные функциональные системы, что должно проявляться в более распределенной церебральной активации по сравнению с актуализацией опыта поведения, для реализации которого нужно использовать те или иные конкретные органы чувств.

Методы. Проанализирована активность головного мозга 8 здоровых испытуемых (средний возраст 24.3 года) по данным функциональной МРТ. Проведен анализ второго уровня (random-effects analysis) на выборке с порогом значимости $p < 0.005$ (воксельный), с FDR-поправкой $p < 0.05$ на уровне кластеров.

Результаты. Установлено, что актуализация опыта, связанного с абстрактными понятиями, сопровождается наиболее обширной активацией коры головного мозга,

включающей префронтальные, теменные, височные области и мозжечок. Прямое сравнение карт активации (абстрактные понятия > конкретные понятия) выявило специфическую активацию в дорсолатеральной префронтальной коре и мозжечке, связанную с абстрактными понятиями.

Обсуждение результатов. Полученные результаты свидетельствуют в пользу предположения о том, что распределенный характер структур головного мозга, активируемых при актуализации понятий, является отражением степени дифференцированности и этапа формирования связанных с этими понятиями функциональных систем в онтогенезе.

Ключевые слова

фМРТ, мозг, зрение, вкус, слух, обоняние, функциональные системы, конкретные понятия, абстрактные понятия

Благодарности

Авторы выражают благодарность Печенковой Е.В. и Орлову В.А. за ценные рекомендации.

Финансирование

Определение цели и разработка дизайна исследования, распределение данных нейровизуализации, разметка обработанных изображений и фиксация параметров, статистическая обработка полученных количественных данных выполнены в рамках гранта РНФ, проект №25-18-00744.

Контрольные данные, использованные для сопоставления с результатами настоящего исследования, были получены в рамках государственного задания НИЦ «Курчатовский институт» по теме «Фундаментальные междисциплинарные исследования в области создания природоподобных технологий» (ЕГИСУ: 123061500011-0).

Для цитирования

Пилечева, А. В., Колбенева, М. Г., Шапошников, Е. А., Мершина, Е. А., Синицын, В. Е., Александров, Ю. И. (2026). Динамика актуализации индивидуального опыта, связанного с конкретными и абстрактными понятиями: фМРТ анализ. *Российский психологический журнал, 23*(2), 114-134. https://doi.org/10.21702/rpj.2026.2.7

Введение

Исследование проведено в рамках актуальной психологической проблемы изучения особенностей памяти, сформированной на разных этапах индивидуального развития.

В современных нейрокогнитивных исследованиях одним из ключевых методов изучения мозговых основ психических процессов выступает функциональная магнитно-резонансная томография (фМРТ). Данная методика базируется на регистрации изменения концентрации оксигенированного гемоглобина (BOLD-эффект), отражающего динамику локального мозгового кровотока (Оксигенированный гемоглобин, представляющий собой железосодержащий белок с присоединенными молекулами кислорода, демонстрирует специфические магнитные свойства, детектируемые благодаря магнитно-резонансному томографу (Ogawa et al., 1990).). Количественные показатели оксигенации крови служат метаболическим маркером нейрональной (синаптической) активности в исследуемых областях мозга.

Важными преимуществами фМРТ в сравнении с альтернативными методами функциональной нейровизуализации (например, электроэнцефалографией) являются высокая пространственная разрешающая способность (порядка 1–3 мм) и отсутствие принципиальных ограничений по глубине сканирования. Это позволяет с высокой точностью идентифицировать как корковые, так и субкортикальные структуры, изменяющие активность при выполнении когнитивных задач.

Согласно теории функциональных систем (Анохин, 1978) и системно-эволюционному подходу (Швырков, 2006), память индивида состоит из функциональных систем, сформированных в течение жизни. Каждая функциональная система является общеорганизменной, то есть представляет собой объединение клеток разной морфологической принадлежности, взаимосодействующих достижению нужного индивиду результата (Анохин, 1978). Эти системы, представляющие модели успешного взаимодействия со средой (Пономарев, 1983), не замещают друг друга, а «наслаиваются» в процессе развития (Швырков, 2006), формируя структуру индивидуального опыта (памяти), состоящую из его элементов – функциональных систем (Александров, 2009).

В эмпирических исследованиях с использованием фМРТ показано, что структуры головного мозга, связанные с реализацией определенного поведения, активируются не только при его «внешнем» (overt) выполнении, но и при наблюдении, воображении или вербальном описании соответствующих действий. Например, моторные и премоторные зоны коры, активные при реализации разнообразных движений, активируются и тогда, когда людям предъявляют слова или предложения, описывающие данные движения (Aziz-Zadeh et al., 2006; Hauk et al., 2004; Tettamanti et al., 2005), когда люди наблюдают действия (Cross et al., 2006) и их мысленно представляют (Grezes & Decety, 2001). Аналогичные эффекты обнаружены в сенсорных областях при понимании слов, описывающих ощущения (Kiefer et al., 2008).

В рамках современных представлений о воплощенном познании (embodied cognition) (см. обзоры Galetzka, 2017; Glenberg et al., 2013; Колбенева, 2013; Kolbeneva & Alexandrov, 2016) изучаются феномены, демонстрирующие тесную связь языка и телесных процессов (Glenberg & Kaschak, 2002; обзор Barsalou et al., 2003; Bergen, 2005; Tettamanti et al., 2005; Aziz-Zadeh et al., 2006; Fischer et al., 2008; Hinojosa et al., 2020;

Alexandrov et al., 2022; обзор Bechtold et al. 2023). Предполагается, что, используя слова, человек реактивирует тот опыт взаимодействия со средой, который этими словами обозначается.

Согласно положениям единой концепции сознания и эмоций (Александров, 1995; Alexandrov, 1999; Alexandrov & Sams, 2005; Александров, 2006), функциональные системы, сформированные на ранних этапах развития, являются менее дифференцированными, чем те, что формируются на более поздних этапах. Это нарастание дифференцированности систем можно описать как переход от преобладания эмоциональной характеристики поведения к преобладанию «сознательной» характеристики. Эти различия в дифференцированности систем изучались на основе реализации во внутреннем плане поведения, связанного с преимущественным использованием разных органов чувств (Колбенева, 2010; Колбенева, 2013; Колбенева, 2014; Kolbeneva & Alexandrov, 2016), поскольку увеличение возможностей использовать информацию о среде разной модальности происходит последовательно (Gottlieb, 1971; Lickliter, 2011; Craighero, 2024). На пренатальном этапе развития кожные ощущения поверхности тела и обонятельно-вкусовые «ощущения» начинают использоваться индивидом при взаимодействии со средой раньше, чем появляющаяся позже возможность использования слуховой и зрительной информации, а также получаемой от рецепторов кожи пальцев рук (Gottlieb, 1971; Craighero, 2024). Эти данные позволили предположить, что поведение, преимущественно связанное с кожными «ощущениями» поверхности тела, обонянием или вкусом, является менее дифференцированным, чем поведение, преимущественно связанное с использованием слуха, зрения или пальцев рук. В эмпирическом исследовании эта гипотеза была проверена и было показано, что прилагательные, описывающие зрительные ощущения, преобладают в словаре русского языка, по сравнению с прилагательными, описывающими ощущения, получаемые с помощью иных органов чувств, что указывает на их высокую дифференцированность (Колбенева, Александров, 2011; Колбенева, 2013; Колбенева, 2014; Kolbeneva & Alexandrov, 2016). Сопоставимые данные получены позже и для слов английского языка (Winter, Perlman & Majid, 2018): среди прилагательных, существительных и глаголов, описывающих различные характеристики объектов, преобладают те, которые описывают зрительные характеристики, а меньше всего слов описывают обонятельные и вкусовые характеристики, связанные с системами сравнительно меньшей дифференцированности. Аналогичные закономерности распределения психолингвистических норм и влияния возраста освоения лексики на процессы её обработки успешно демонстрируются и на материале других языковых систем, в частности китайского (Liu, Shu & Li, 2007), что указывает на кросс-лингвистическую устойчивость описываемых феноменов. С позиций системно-эволюционного подхода (Швырков, 2006; Александров, 2009) предполагалось, что различия в «возрасте» формирования поведения, связанного с преимущественным использованием разных органов чувств, будут проявляться в скорости активации поведения, поскольку низко дифференцированное поведение является более простым,

чем высоко дифференцированное. В зарубежных исследованиях было показано, что возраст, в котором люди выучили значения разных слов (субъективный возраст «понимания» слов), связан со скоростью извлечения значений слов из памяти: чем раньше слова выучиваются, тем быстрее они распознаются, называются и оцениваются по гедонистической шкале Ликерта (Izura & Ellis, 2002; Ghyselinck et al., 2004; Brysbaert et al., 2000; Meschyan & Hernandez, 2002). Кроме того, в соответствии с положениями единой концепции сознания и эмоций (Alexandrov, 1999; Alexandrov & Sams, 2005) ожидалось, что рано формируемое поведение будет связано с более интенсивными эмоциями, чем позднее формируемое поведение. В проведенном эмпирическом исследовании (Kolbeneva & Alexandrov, 2016) было показано, что рано формируемое (а значит, низко дифференцированное) поведение, преимущественно связанное с кожными «ощущениями» поверхности тела, обонянием или вкусом, быстрее реактивируется в памяти (актуализируется) и оценивается как вызывающее более интенсивные эмоции, чем более дифференцированное поведение, преимущественно связанное со зрением, слухом и тактильными ощущениями пальцев рук (Александров, 1995; Alexandrov, 1999; Колбенева, 2013; Kolbeneva & Alexandrov, 2016). Сходные данные получены и на материале английского языка (Winter et al., 2016, 2018): прилагательные, существительные и глаголы, описывающие обонятельные ощущения, оценивались как вызывающие максимально интенсивные эмоции. Для слов, описывающих другие ощущения, интенсивность эмоций была ниже, снижаясь, как отмечают авторы, в следующей последовательности: вкусовые ощущения > слуховые ощущения > тактильные ощущения > зрительные ощущения.

С учетом описанных выше данных и представлений цель настоящего исследования состояла в выявлении возможных различий в наборе и активности структур головного мозга, обеспечивающих понимание конкретных и абстрактных понятий. Предполагалось, что имеется связь между степенью дифференцированности актуализируемого индивидуального опыта и активностью корковых и подкорковых структур головного мозга, которая выражается в различиях активности головного мозга (динамике фМРТ-сигналов) при актуализации низко и высоко дифференцированного индивидуального опыта, связанного органами чувств и обобщенными абстрактными понятиями.

Методы

В пилотном исследовании приняли участие 8 человек: 5 женщин (у всех ведущая рука правая) и 3 мужчины (у одного ведущая рука левая, у двух – правая) в возрасте от 21 до 33 лет (средний возраст – 24,3 года). Все участники исследования имели нормальную или скорректированную до нормальной остроту зрения. Перед началом эксперимента участники проходили предварительный опрос для выявления возможных противопоказаний к МРТ, а также подписали информированное добровольное согласие на участие в исследовании, включая согласие на обработку персональных

данных (стандартная форма) и подтверждение об отсутствие у себя психических или неврологических заболеваний.

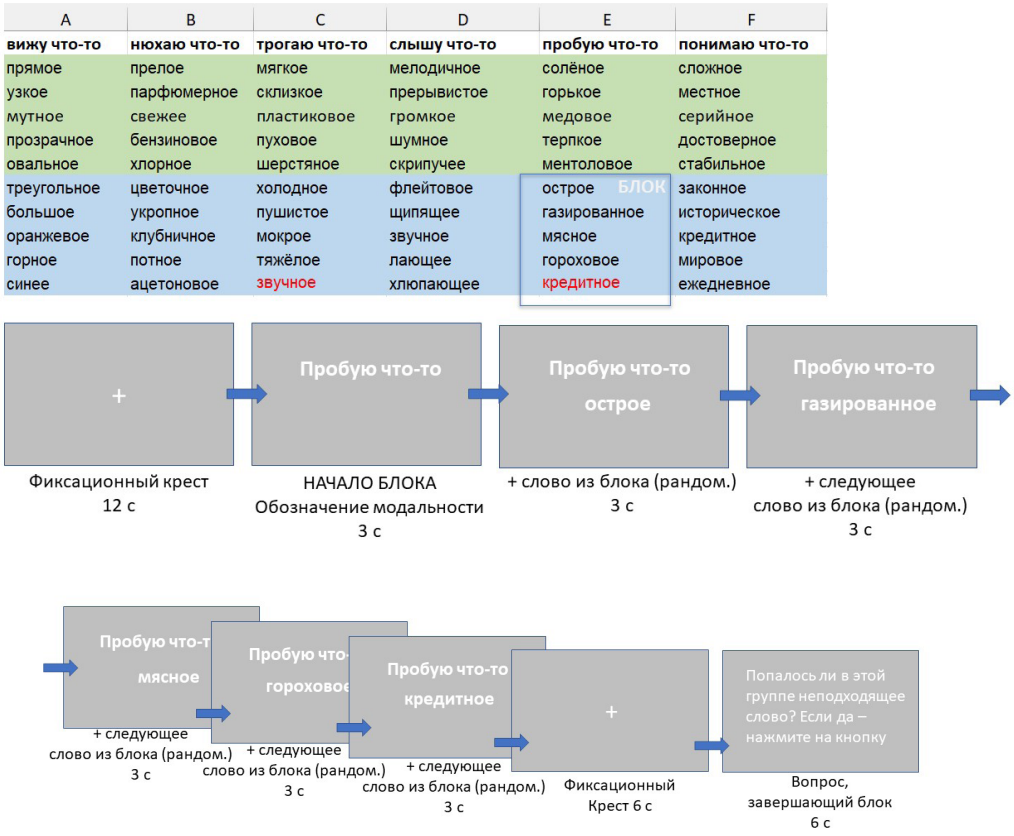
Исследование проводилось на томографе Siemens MagnetomVida 3T с применением 64-канальной РЧ-катушки BioMatrix Head/Neck. Были получены следующие изображения: T1-взвешенные, анатомические данные, (TR = 1850 мс; TE = 2.41 мс; FA = 9°; толщина среза = 0.8 мм, матрица сканирования 320x320), T2*- взвешенные, функциональные данные, (TR = 1500 мс; TE = 30 мс; FA = 68°; толщина среза = 2.5 мм; матрица сканирования 84x84, количество срезов = 60; 1206 объемов = 3 пробега x 402 объема, продолжительность = 603 с) и карты неоднородности магнитного поля (field map). Функциональные аксиальные срезы располагались параллельно интеркомиссуральной оси головного мозга.

Участники эксперимента лежали на спине, голова была мягко фиксирована. Слова различных модальностей и фиксационный крест демонстрировались на экране, размещенном за пределами томографа, который был виден через систему зеркал, расположенную на катушке. Для реактивации индивидуального опыта, связанного с разными органами чувств и абстрактными понятиями (Колбенева, Александров, 2011), были подобраны по 28 прилагательных разной модальности (зрительные, слуховые, тактильные, вкусовые, обонятельные, абстрактные: всего 168 слов, нормированных по количеству слогов) из которых были сформированы блоки для каждой из модальностей: 4 однородных блока (например, блок состоял из 5 слов только зрительной модальности) и 2 блока с дистрактором (Дистрактор (от англ. *distractor, distracter*, образованных от глагола «отвлекать») — неправильный, но правдоподобный ответ, отвлекающий. Каждое 30-е слово представляло собой дистрактор.) (например, в блоке предъявлялись в случайном порядке 4 слова зрительной модальности и 1 слово слуховой модальности). Таким образом, было по 6 блоков для каждой модальности (4 «чистых» и 2 с дистрактором). Участник должен был определять появление слов со свойствами дистрактора.

Из блоков далее были сформированы 3 похожих набора слов, но не повторяющихся между собой (пример – Рис. 1). Слова были рандомизированы внутри блока, блоки рандомизированы в каждом наборе, наборы контрсбалансированы между участниками по принципу латинского квадрата. Участнику исследования было предложено внимательно смотреть на экран и постараться представить себе ощущения, связанные с демонстрируемыми прилагательными.

Рисунок 1

Пример одного набора, состоящего из 12 блоков по 5 слов – прилагательных разных модальностей, красным выделены слова – дистракторы.



Участнику предлагалось читать про себя появляющиеся на экране слова и после каждого блока отвечать на вопрос «Попалось ли в этой группе неподходящее слово? Если да – нажмите на кнопку». Ответы позволили обеспечить и оценить вовлеченность участника в задачу, ошибки не превышали 5% от общего числа ответов.

Для анализа функциональных данных использовался пакет программного обеспечения MATLAB R2022b (The MathWorks Inc., https://www.mathworks.com/products/matlab.html) с дополнительным программным пакетом SPM12 (https://www.fil.ion.ucl.ac.uk/spm/software/spm12/). Данные были конвертированы из формата DICOM в NIfTI-формат, после центрированы так, чтобы передняя комиссура располагалась в нулевой координате по всем трем осям. На основании изображений fieldmap, для каждого пробега каждого испытуемого была рассчитана карта смещения вокселей (VDM, voxel displacement map), они были использованы для последующей предобработки. После этого срезы в функциональных данных были скорректированы относительно времени получения (Slice-timing correction). Далее функциональные данные были выравнены

относительно среднего изображения при помощи метода наименьших квадратов и алгоритма трансформации твердого тела в 6-ти направлениях, а также на этом этапе была проведена коррекция с использованием VDM. Затем была произведена процедура корегистрации функциональных и анатомических изображений и нормализация в соответствии с пространством координат MNI (Montreal Neurological Institute). На последнем этапе предобработки функциональные данные были пространственно сглажены с использование Гауссова фильтра с ядром 6x6x6 FWHM.

На индивидуальном уровне анализ данных проводился методом GLM (общей линейной модели), групповые данные были созданы на основе индивидуальных с использованием анализа случайных эффектов. Статистически значимыми кластеры признавались на основании значения p <0.005 (без поправки на множественные сравнения) на уровне вокселей, и с применением поправки FDR (false discovery rate) p<0.05 на уровне кластеров. Визуализация результатов производилась при помощи программного пакета MRIcroGL 15.1.1 (https://www.nitrc.org/projects/mricrogl/). Анатомическое картирование осуществлялось на основании атласа AAL (Automated anatomical labelling), поставляемого в комплекте с MRIcroGL.

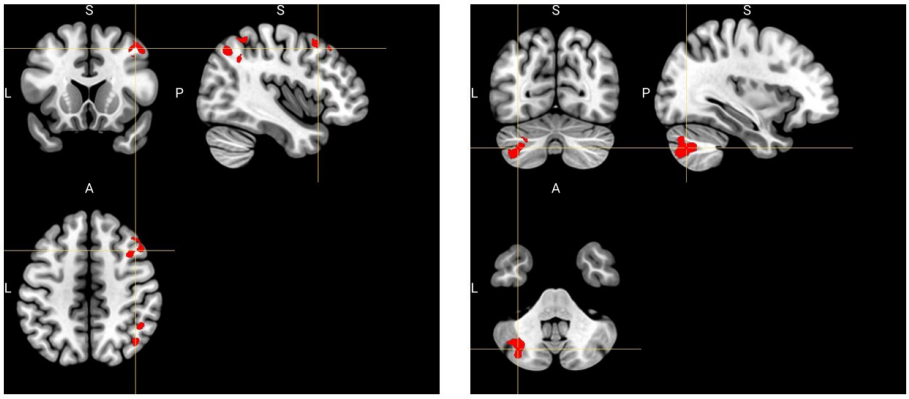
Результаты

Выделялись кластеры активации для каждой модальности при сравнении с «состоянием покоя» и активностью при объединении разных модальностей. За условное «состояние покоя» были взяты интервалы времени, когда участнику не предъявлялись слова или условия задачи, активность этих этапов усреднялась.

При сравнении активности мозга во время предъявления абстрактных слов и всех остальных слов наблюдалось три кластера активации, специфичных для абстрактных понятий: в задних отделах средней лобной извилины справа; в верхней и нижней полулунных дольках мозжечка слева; в нижней и верхней теменной дольке справа (см. Рис.2), FDRc=195 vox (Здесь и далее: FDRc – минимальный объем значимого кластера (p=0.003).

Рисунок 2

Сравнение активности мозга во время предъявления абстрактных слов и совокупностью других модальностей –визуализация MRIcroGL. Три кластера активации (пояснения см. в тексте).

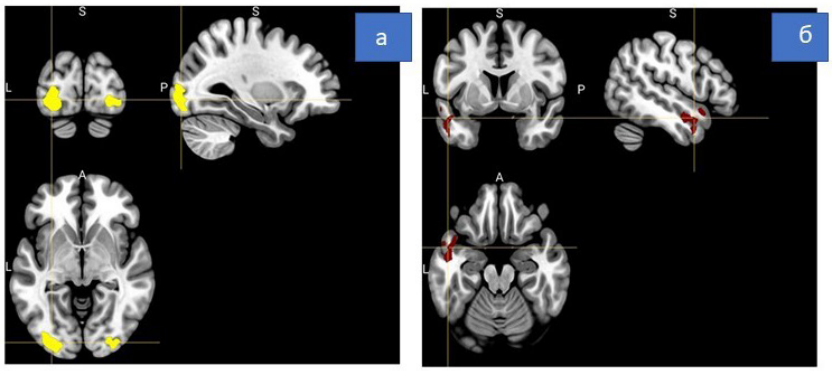


При сравнении активности мозга во время предъявления слов зрительной модальности и всех остальных слов было обнаружено два кластера активации, специфичных для совокупности слов всех модальностей за исключением зрительной – в средней и нижней затылочных долях справа и слева (см. Рис. 3а), FDRc=170 vox.

При сравнении активности мозга во время предъявления слов тактильной модальности и всех остальных слов выявлен кластер активации, специфичный для совокупности слов всех модальностей за исключением тактильной – в передних отделах верхней и средней височной извилины с вовлечением височного полюса слева (см. Рис. 3б), FDRc= 233 vox.

Рисунок 3

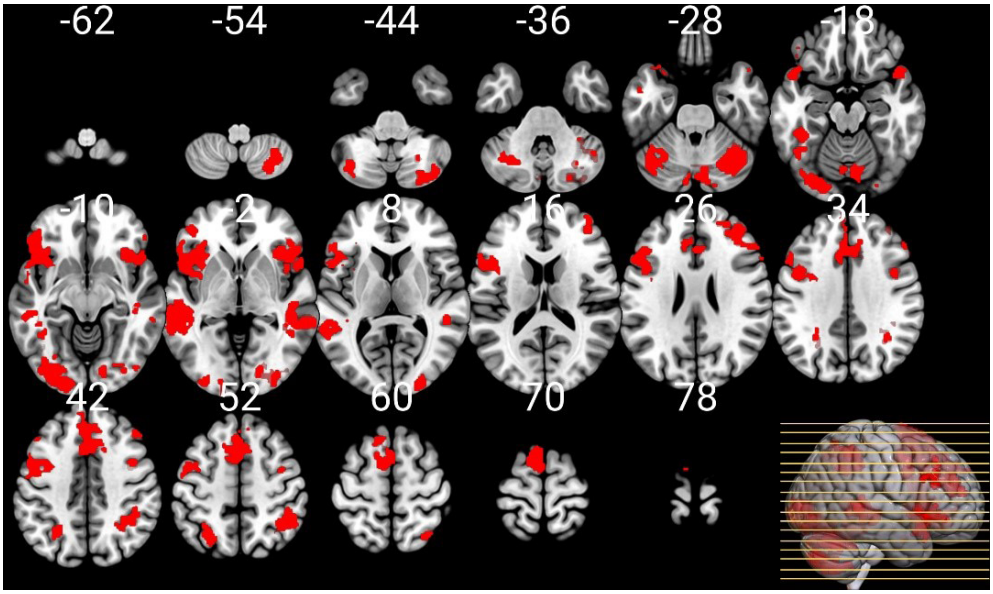
Сопоставление усредненной активации всех модальностей против зрительной (а) и против тактильной (б) – визуализация MRIcroGL. Два и один кластеры активации, соответственно (пояснения см. в тексте).



При сопоставлении активности мозга во время предъявления абстрактных слов и в состоянии «покоя» были обнаружены 12 кластеров активации, характерных для абстрактных понятий: 1) в верхней и нижней полулунных дольках мозжечка, нижней и средней затылочных извилинах и в задних отделах нижней и средней височных извилин слева; 2) в прецентральной извилине, переходящий на задние отделы нижней лобной извилины (оперкулярная, треугольная и орбитальная части), в височный полюсе, в передних отделах верхней и средней височной извилины и островковой коре слева; 3) в передних и средних отделах поясных извилин, дополнительных моторных областях коры, задних медиальных и конвекситальных отделах верхних лобных извилин справа и слева; 4) в области червя в передней доле мозжечка, в нижней, средней и верхней затылочных извилинах, шпорной борозде и червеобразной извилине справа; 5) в области задних отделов нижней лобной извилины (оперкулярная, треугольная и орбитальная части) с переходом на передние отделы верхней височной извилины и островковую кору справа; 6) в области верхней полулунной дольки мозжечка справа; 7) в области средних отделов средней лобной извилины справа; 8) в задних отделах средней височной извилины справа; 9) в области правой внутритеменной борозды с захватом верхней и нижней теменных долек, а так же угловой и надкраевой извилин; 10) в правой нижней полулунной дольке мозжечка; 11) в области левой внутритеменной борозды, верхней и нижней теменных долек, а также угловой извилины; 12) в средних отделах правой прецентральной извилины, в передних отделах левой средней височной извилины, в области левой островковой коры, височного полюса и орбитальной части нижней лобной извилины (Рис. 4), FDRc=114 vox.

Рисунок 4

Сравнение активности мозга во время предъявления абстрактных слов и в состоянии «покоя» – визуализация MRIcroGL. 12 кластеров активации (пояснения см. в тексте)



При сопоставлении карт активности мозга во время предъявления слов слуховой модальности и в периоды «покоя» были выявлены 4 кластера активации, характерных для слуховой модальности: 1) в области задних отделов нижней лобной извилины (оперкулярная, треугольная и орбитальная части) и нижних отделов прецентральной извилины, височного полюса и островковой коры, а также в области головки хвостатого тела, покрышки и бледного шара слева; 2) в области дополнительной моторной коры и задних отделов верхних лобных извилин справа и слева; 3) в области средней и нижней затылочных извилин слева; 4) в области средних отделов левой прецентральной извилины и задних отделов средней лобной извилины (Рис. 5а), FDRc=272 vox.

При сопоставлении активности мозга во время предъявления слов зрительной модальности и в состоянии «покоя» были обнаружены 9 кластеров активации, характерных для зрительной модальности: 1) в области нижней лобной извилины (оперкулярная, треугольная и орбитальная части) с включением нижних и средних отделов прецентральной извилины, височного полюса и островковой коры слева; 2) в области дополнительной моторной коры и задних отделов верхних височных долей справа и слева; 3) в верхней и нижней полулунных дольках мозжечка справа с заходом на червь в передней доле; 4) в области нижней затылочной извилины с заходом на язычную и червеобразную извилины слева; 5) в задних отделах средней височной извилины слева; 6) в области задних отделов нижней лобной извилины (оперкулярная, треугольная и орбитальная части) с заходом на височный полюс и островковую кору справа; 7) в области внутритеменной борозды (верхняя и нижняя теменные дольки) слева; 8) в гиппокампе, парагиппокампальной коре и червеобразной извилине слева; 9) в области нижней полулунной дольки мозжечка справа (Рис. 5б), FDRc=155 vox.

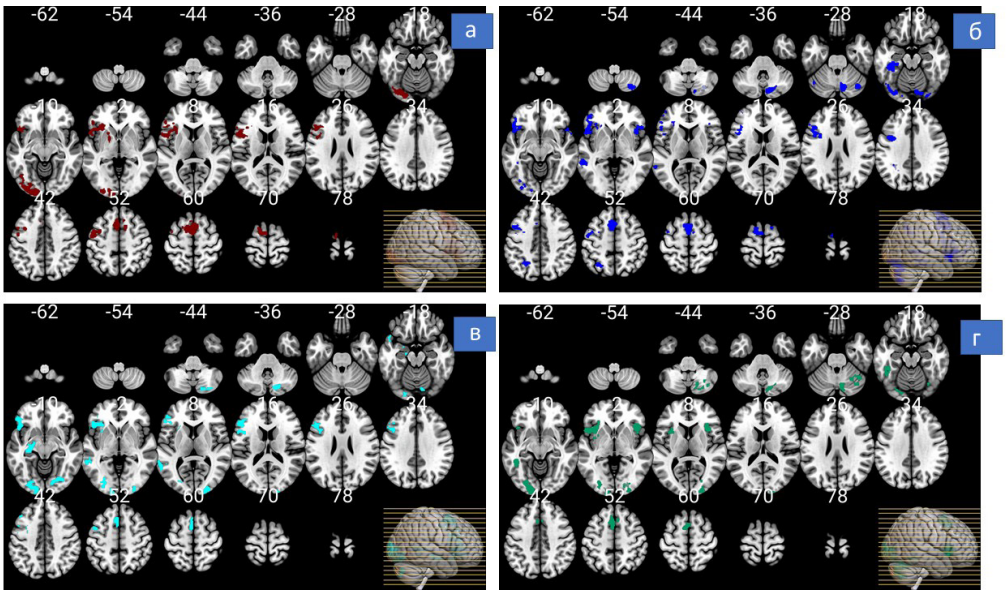
При сопоставлении активности мозга во время предъявления слов обонятельной модальности и в состоянии «покоя» были выявлены 8 кластеров активации, характерных для обонятельной модальности: 1) в области нижней лобной извилины (оперкулярная, треугольная и орбитальная части) с захватом задних отделов средней лобной и нижних отделов прецентральной извилин, височного полюса и островковой коры слева; 2) в средней и нижней затылочных извилинах с захватом области шпорной борозды и червеобразной извилины слева; 3) в задних отделах средней височной извилины слева; 4) в правой и левой дополнительной моторной коре; 5) в области верхней и средней затылочных извилин справа; 6) в левом гиппокампе и парагиппокампальной коре; 7) в язычной и червеобразной извилинах справа; в области верхней и нижней полулунных долек мозжечка справа (Рис. 5в), FDRc=117 vox.

При сопоставлении карт активации мозга во время предъявления слов вкусовой модальности и в состоянии «покоя» были обнаружены 7 кластеров активации, характерных для вкусовой модальности: 1) в нижней лобной извилине (оперкулярная, треугольная и орбитальная части) и в области островковой коры слева; 2) в области средней и нижней затылочных извилин с переходом на шпорную борозду и язычную и червеобразную извилины слева; 3) в дополнительной моторной коре, медиальных отделах верхних лобных извилин и средних отделах поясных извилин справа и

слева; 4) в верхней и нижней полулунных дольках мозжечка; 5) в области нижней лобной извилины (оперкулярная, треугольная и орбитальная части) с переходом на островковую кору справа; 6) в средней и верхней затылочных извилинах с переходом на шпорную борозду справа; 7) в задних отделах нижней височной извилины слева (Рис. 5г), FDRc=177 vox.

Рисунок 5

Сопоставление состояния «покоя» со слуховой (а), зрительной (б), обонятельной (в) и вкусовой (г) модальностью - визуализация MRIcroGL. Четыре, девять, восемь и семь кластеров активации, соответственно (пояснения см. в тексте).



При сопоставлении активности мозга во время предъявления слов тактильной модальности и в состоянии «покоя» выявлены 3 кластера активации, характерных для тактильной модальности: 1) в области нижней лобной извилины (оперкулярная, треугольная и орбитальная части) с захватом задних отделов средней лобной, средних и нижних отделов прецентральной извилины, височного полюса, островковой коры, покрышки, бледного шара, миндалины и гиппокампа слева; 2) в дополнительной моторной коре, медиальных отделов верхних лобных извилин и средних отделах поясных извилин справа и слева; 3) в левой внутритеменной борозды (верхняя и нижняя теменные дольки), FDRc=191 vox.

Сопоставляя активность мозга при предъявлении группы прилагательных зрительной и тактильной модальностей и группы прилагательных обонятельной и вкусовой модальностей, было обнаружено 10 кластеров активации, характерных одновременно для зрительной и тактильной модальностей: 1) в области задних отделов нижней лобной извилины слева (оперкулярная и треугольная части); 2) в верхней и нижней полулунных дольках мозжечка справа; 3) в средних отделах

левой прецентральной извилины; 4) в области внутри теменной борозды слева (захватываются верхняя и нижняя теменные дольки); 5) в двубрюшной дольке мозжечка с заходом на нижнюю полулунную дольку справа; 6) в средней затылочной извилине слева; 7) в задних отделах нижней височной извилины слева; 8) в левых гиппокампе и парагиппокампальной области; 9) в области вентральных отделов центральной, передней части четырехугольной долек и миндалины мозжечка; 10) в левой надкраевой извилине, FDRc = 156 vox.

При сопоставлении активности мозга в ходе предъявления абстрактных прилагательных и слов вкусовой модальности выявлено два кластера активации, характерных для абстрактных прилагательных: 1) в области внутритеменной борозды как справа, так и 2) слева (захватываются и нижние, и верхние теменные дольки), FDRc=453 vox.

Обсуждение результатов

Первичные сенсорные корковые области считаются унимодальными, однако исследования на животных показывают, что это не так и при определенных поведенческих условиях первичные сенсорные области коры также могут активироваться и при использовании человеком других модальностей, реализуя принцип мультисенсорной интеграции на всех уровнях. Связь разных органов чувств выявлена не только на уровне ассоциативной коры, она показана в подкорковых структурах и в первичной коре. Обнаружено, что первичная слуховая кора (A1) песчанки (Gerbillus) получает прямые анатомические входы от соматосенсорной (S1), зрительной и обонятельной коры. Она также проецируется обратно в них (Budinger et al., 2006). Нейроны с мультисенсорными свойствами найдены в первичных зонах коры A1, S1 и V1. Их активность при предъявлении, например, звука может модулироваться (усиливаться или подавляться) при использовании в поведении других модальностей (напр., тактильного прикосновения) (Lohse et al., 2022). Сенсорные карты в коре не статичны. Они динамически перестраиваются в зависимости от опыта, обучения и поведенческой значимости объектов. Активность «сенсорных» структур (как центральных, так и периферических: рецепторы) не детерминирована «специфической» модальностью, а связана с целями и обеспечением развертывания целостного поведения индивида (Александров, 1975; Александров, Гринченко, 1984; Astrand et al., 1986). Эта активность, например, в зрительной коре, а также у волокон зрительного нерва, может проявляться при реализации выученного целенаправленного поведения и в условиях искусственного ограничения контакта индивида со зрительной «частью» среды (см. в Alexandrov & Alexandrov, 1982; Alexandrov et al., 1986). В пользу такого представления свидетельствуют данные и Хута с соавторами о том, что семантическая информация представлена в виде сложной, распределенной мозаики областей, покрывающих обширные зоны височной, теменной и лобной коры обоих полушарий. В созданном ими семантическом атласе указаны 77 семантических областей в левом полушарии и

63 – в правом, селективно активных при использовании человеком различных групп понятий (социальных, эмоциональных, визуальных и др.) (Huth et al., 2016).

С позиций классической нейролингвистики, семантическая (или вербальная) память описывается как двойная система (Binder, 2009, 2011). Первый компонент этой системы составляют модально-специфические области, активирующиеся при обработке сенсорных понятий: затылочные доли для зрительных слов, височные – для слуховых, соматосенсорная кора и островок – для тактильных, вкусовых и обонятельных. Это согласуется с обнаруженной в настоящем исследовании повышенной активацией в затылочных долях при предъявлении слов, преимущественно связанных со зрением, по сравнению со словами других модальностей. Второй компонент – надмодальные «хабы» (например, левая нижняя теменная кора, угловая извилина, вентролатеральная префронтальная кора), которые интегрируют информацию из различных сенсорных каналов, формируя абстрактные, супрамодальные репрезентации. Наши данные, показавшие обширную активацию префронтальных, теменных и височных областей при обработке абстрактных понятий по сравнению с состоянием покоя, и наличие специфических кластеров активации при прямом сравнении абстрактных понятий с конкретными (абстрактные понятия по отношению к объединенной группе слов, связанных с разными органами чувств, абстрактные понятия по отношению к словам вкусовой модальности), могут быть проинтерпретированы в терминах этой модели. Использование человеком абстрактных понятий, лишенных прямой связи с органами чувств, вероятно, обеспечивается активацией этих распределенных интегративных хабов. Полученные нами данные согласуются и с результатами метаанализа Bucur & Papagno (2021), в котором обобщены данные о том, что использование человеком конкретных и абстрактных слов связано с активностью разных, хотя и перекрывающихся, наборов участков коры головного мозга. Восприятие абстрактных слов обеспечивается активацией леволатерализованной сети, включающей нижнюю лобную извилину (IFG), а также верхнюю и среднюю височные извилины. Активность IFG интерпретируется как отражение больших требований к семантическому контролю при понимании абстрактных понятий, которые имеют более вариативные значения и требуют большего усилия для интеграции и выбора. Восприятие конкретных слов, в свою очередь, обеспечивается активацией задних теменно-височно-затылочных областей, связанных с перцептивными процессами и ментальными образами. Эти данные могут быть рассмотрены и с позиций, соответствующих представлениям, развитым в теории двойного кодирования (Paivio, 1990, 2013), согласно которым конкретные понятия опираются как на вербальные, так и на образные (невербальные) коды, в то время как абстрактные – преимущественно на вербальную систему (Binder et al., 2005). Исследование, проведенное Noppeney и Price (2004), в котором использовалась задача на выявление сходства в значениях разных слов, также показало, что извлечение абстрактной семантики по сравнению с сенсорной обеспечивается специфической активацией в левой лобно-височной системе (нижняя лобная извилина, средняя височная извилина, передний височный полюс). Эта активация наблюдалась

независимо от сложности задачи, что исключает интерпретацию результатов просто как следствие больших усилий или длительности обработки (Noppeney & Price, 2004). Авторы предположили, что выявленная активация отражает стратегию контекстуализации, необходимую для определения значения абстрактных понятий, которые лишены прямой сенсорной опоры.

Взгляд, фокусирующийся на структурно-функциональном подходе, в котором рассматриваются проекции «специфических» функций на соответствующие им структуры, не дает объяснений, приемлемых с системно-эволюционных позиций (см. в Анохин, 1978; Швырков, 2006; Alexandrov & Jarvilehto, 1993; Aleksandrov, 2008). В рамках системно-эволюционного подхода извлекаемые из памяти при предъявлении слов функциональные системы являются целостными, исторически сложившимися общеорганизменными нейродинамическими и нейровисцеральными объединениями клеток разной морфологической принадлежности, сформированными на разных этапах индивидуального развития в процессе системогенеза (при научении) для достижения адаптивных результатов при взаимодействии индивида со средой. Современные метаанализы фМРТ-исследований также подтверждают, что нейронные сети, обеспечивающие семантическую обработку и языковое понимание, претерпевают существенные структурно-функциональные изменения в ходе онтогенеза, отражая постепенную дифференциацию и интеграцию соответствующих функциональных систем (Enge, Friederici & Skeide, 2020; Enge & Friederici, 2021).

Ключевой тезис для анализа полученных данных в рамках системно-эволюционного подхода заключается в том, что функциональные системы, для которых ключевыми является использование для организации поведения информации из внешней среды, связанной с разными модальностями, формируются, как уже было отмечено, в онтогенезе неодновременно и обеспечивают соотношение со средой разной степеной степени дифференцированности. Поведение, для которого ключевыми являются обоняние, вкус или чувствительность кожи тела, формируется на самых ранних этапах пренатального и раннего постнатального развития. Эти системы являются филогенетически и онтогенетически более древними, менее дифференцированными и поведение, которое обеспечивается их актуализацией, характеризуется сравнительно более высокой эмоциональностью. Напротив, актуализация систем, преимущественно опирающихся на зрение, тонкий тактильный анализ и слух, формируются позднее, обеспечивают развертывание более дифференцированного поведения и в большей степени связаны с характеристиками, описываемыми термином «сознание».

Опираясь на полученные данные, наши результаты можно объяснить следующим образом. Абстрактные понятия актуализируют сравнительно более сложный опыт, связанный с более поздно сформированными и более дифференцированными функциональными системами. Этот опыт обеспечивается обширными межсистемными отношениями (т.е. отношениями связи между отдельными элементами опыта; см. ниже), и его актуализация требует координации активности множества корковых и подкорковых структур, что и проявляется в виде наибольшего числа кластеров активации.

При предъявлении слов, преимущественно связанных с разными органами чувств (конкретные понятия), актуализируются функциональные системы (элементы индивидуального опыта) разного «возраста» и дифференцированности. Полученные в настоящем исследовании данные о том, что использование в организации поведения слов, описывающих тактильные и зрительные ощущения, характеризуется повышенной активацией в некоторых областях мозга по сравнению с пониманием слов, описывающих ощущения других модальностей, предположительно могут отражать их связь с более дифференцированным поведением и более широким спектром вовлеченных систем (одновременно актуализированных систем разного возраста), как более дифференцированных, так и менее дифференцированных, поскольку реализация поведения есть одновременная актуализация истории его формирования, а она в данном случае длительнее (т.е. представлена, как правило, большим количеством системогенезов), чем для менее дифференцированного поведения. Кроме того, реализация такого поведении обеспечивается более многочисленными межсистемными отношениями, функционированию которых соответствуют специальные дополнительные активации (см. в Alexandrov et al., 1993; Созинов, Александров, 2022).

Таким образом, если классический нейролингвистический подход объясняет полученные нами результаты на основе представления о функциональной специализации областей (сенсорные области и хабы), то системно-эволюционный подход объясняет их, опираясь на принцип гетерохронного формирования и разной степени дифференцированности функциональных систем, формируемых в онтогенезе. Новые данные о кроссмодальной интеграции в островковой доле (Khorisantono et al., 2025) служат ярким примером того, как фило- и онтогенетически древние структуры могут служить основой для формирования сложных перцептивных единств, что является частным случаем общего принципа системогенеза и одновременной актуализации систем разного возраста в поведении.

При сопоставлении с данными фМРТ-исследований, полученными в НИЦ «Курчатовский институт», в контексте диагностики скрываемой информации (см. в Орлов и др., 2025), обнаруживаются феномены, демонстрирующие связь и взаимозависимость более и менее дифференцированных систем в единых механизмах обеспечения поведенческого акта. Как процесс актуализации личностно значимой информации, так и использование в организации поведения слов, описывающих зрительные, тактильные ощущения и абстрактные понятия, сопровождается активацией в одних и тех же регионах мозжечка (верхняя и нижняя полулунные дольки и червь мозжечка). Это позволяет, в согласии с цитированными выше авторами (Орлов и др., 2025), предположить, что мозжечок, традиционно связываемый с моторными функциями, играет важную «узловую» роль в единых механизмах обеспечения поведенческого акта, особенно тех, которые связаны с актуализацией сложных, поздно сформированных и высокодифференцированных систем опыта. А сложная схема семантических полей, выявляемая с помощью фМРТ, является следствием и отражением поэтапного и системного процесса формирования индивидуального опыта.

Заключение

На основе теоретических представлений, развитых в рамках системно-эволюционного подхода, мы считаем, что результаты настоящего исследования свидетельствуют в пользу гипотезы о том, что абстрактные понятия связаны с актуализацией более сложного поведения и более дифференцированных систем, чем конкретные понятия. Это согласуется с данными о том, что абстрактные понятия формируются позднее в онтогенезе и связаны с интеграцией более разнообразного опыта, включающего большее количество элементов (см. в: Alexandrov, 1999; Kolbeneva & Alexandrov, 2016).

Мы полагаем, что, несмотря на пилотный характер выборки, результаты вносят вклад в понимание нейрокогнитивных основ воплощенного сознания (embodied cognition) и могут быть использованы для дальнейших исследований в области психологии развития, психофизиологии, психолингвистики и когнитивной нейронауки.

Литература

Александров, Ю.И. (1995). Сознание и эмоции. *Теория деятельности и социальная практика. 36-й международный конгресс* (с. 5–6). Изд. «Физкультура, образование, наука».

Александров, Ю.И. (2006). От эмоций к сознанию. В Д.В. Ушаков (Ред.), *Психология творчества: Школа Я.А. Пономарева* (с. 293–328). Изд-во ИП РАН.

Александров, Ю.И. (2009а). Дифференциация и развитие. В Н.И. Чуприкова (Сост.), *Теория развития: Дифференционно-интеграционная парадигма* (с. 17–28). Языки славянских культур.

Александров, Ю.И. (2009б). Системно-эволюционный подход: наука и образование. *Культурно-историческая психология, 4*, 33–43.

Александров, Ю.И. (1975). Изменения конфигурации условных реакций нейронов зрительной области коры мозга кролика при изменении параметров подкрепления. *Журнал высшей нервной деятельности, 25*(4), 760–768.

Александров, Ю.И., Гринченко, Ю.В. (1984). Активность нейронов соматосенсорной и зрительной областей коры при тестировании их рецептивных полей и во время реализации пищедобывательного поведения. *Нейрофизиология, 16*(2), 254–262.

Анохин, П.К. (1978). *Избранные труды. Философские аспекты теории функциональной системы*. Наука.

Колбенева, М.Г., Александров, Ю.И. (2010). *Органы чувств, эмоции и прилагательные русского языка: Лингво-психологический словарь*. Языки славянских культур.

Колбенева, М.Г., Александров Ю.И. (2011). Эмоции и прилагательные русского языка. 1. Прилагательные, характеризующие зрение, слух, вкус и обоняние. *Экспериментальная психология, 4*(1), 17–27.

Колбенева, М.Г., Александров, Ю.И. (2014). Органы чувств, язык и системная дифференциация в процессах индивидуального развития. В *Дифференционно-интеграционная теория развития* (с. 363–382).

Орлов, В.А., Карташов, С.И., Малахов, Д.Г., Ковальчук, М.В., Александров, Ю.И., Холодный, Ю.И. (2025). фМРТ-исследования в парадигме сокрытия информации: данные об активности мозжечка. *Экспериментальная психология, 18*(3), 45–66.

Пономарев, Я.А. (1983). *Фазы творческого процесса (вместо введения). Исследование проблем психологии творчества*. Изд-во «Наука».

Созинов, А.А., Александров, Ю.И. (2022). *Стабильность и динамика памяти*. Изд-во «Институт психологии РАН».

Швырков, В.Б. (2006). *Нейрональные основы психики. Избранные труды*. В Ю.И. Александров (Ред.). Изд-во ИП РАН.

Alexandrov, Yu.I., Alexandrov, I.O. (1982). Specificity of visual and motor cortex neurons activity in behaviour. *Acta Neurobiologiae Experimentalis, 42*(6), 457–468.

Alexandrov, Yu.I., Grinchenko, Yu.V., Shvyrkov, V.B., Jarvilehto, T., Soininen, K. (1986). System-specific activity of optic tract fibres in open- and closed-eye behavior. *The Soviet Journal of Psychology, 7*(2), 299–308.

Alexandrov, Yu.I., Jarvilehto, T. (1993). Activity versus reactivity in psychology and neurophysiology. *Ecological Psychology, 5*(1), 85–103.

Aleksandrov, Yu.I. (2008). How we fragment the world: the view from inside versus the view from outside. *Social Science Information, 47*(3), 419–457.

Alexandrov, Yu.I. (1999). Comparative description of consciousness and emotion in the framework of systemic understanding of behavioral continuum and individual development. In C. Teddei-Ferretti & C. Musio (Eds.), *Neuronal bases and psychological aspects of consciousness*. World Scientific.

Alexandrov, Yu.I., Grinchenko, Yu.V., Laukka, S., Jarvilehto, T., Maz, V.N., Korpusova, A.V. (1993). Effect of ethanol on hippocampal neurons depends on their behavioral specialization. *Acta Physiologica Scandinavica, 149*, 105–115.

Alexandrov, Yu.I., Sams, M.E. (2005). Emotion and consciousness: Ends of a continuum. *Cognitive Brain Research, 25*, 387–405.

Alexandrov, Y.I., Svarnik, O.E., Rozhdestvin, A.V., Grinchenko, Y.V. (2022). Brain mechanisms of embodied decision-making. *International Journal of Cognitive Research in Science, Engineering and Education (IJCRSEE), 10*(2), 163–171.

Astrand, K., Hamalanen, H., Alexandrov, Yu.I., Jarvilehto, T. (1986). Response characteristics of the peripheral mechanoreceptive units in man: relation to the sensation magnitude and to the subject' task. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, 64*, 438–446.

Aziz-Zadeh, L., Wilson, S.M., Rizzolatti, G., Iacoboni, M. (2006). Congruent embodied representations for visually presented actions and linguistic phrases describing actions. *Current Biology, 16*(18), 1818–1823.

Barsalou, L. W., Simmons, W. K., Barbey, A. K., & Wilson, C. D. (2003). Grounding conceptual knowledge in modality-specific systems. *Trends in cognitive sciences, 7*(2), 84–91.

Bechtold, L., Cosper, S.H., Malyshevskaya, A., Montefinese, M., Morucci, P., Niccolai, V., Repetto, C., Zappa, A., Shtyrov, Y. (2023). Brain signatures of embodied semantics and language: A consensus paper. *Journal of Cognition, 6*(1), 61, 1–40.

Bergen, B. (2005). *Mental simulation in literal and figurative language understanding. The literal and nonliteral in language and thought*. In S. Coulson & V. Eviatar (Eds.), The interface of language, vision, and action. Psychology Press, 255–280.

Binder, J.R., Desai, R.H., Graves, W.W., Conant, L.L. (2009). Where is the semantic system? A critical review and meta-analysis of 120 functional neuroimaging studies. *Cerebral Cortex, 19*(12), 2767–2796. https://doi.org/10.1093/cercor/bhp055

Binder, J., Westbury, C., McKiernan, K., Possing, E., Medler, D. (2005). Distinct brain systems for processing concrete and abstract concepts. *Journal of Cognitive Neuroscience, 17*(6), 905–917.

Binder, J.R., Desai, R.H. (2011). The neurobiology of semantic memory. *Trends in cognitive sciences*. *15*(11), 527-536.

Brysbaert, M., Lange, M., Van Wijnendaele, I. (2000). The effects of age-of-acquisition and frequency-of-occurrence in visual word recognition: further evidence from the Dutch language. *European Journal of Cognitive Psychology, 12*(1), 65–85.

Bucur, M., Papagno, C. (2021). An ALE meta-analytical review of the neural correlates of abstract and concrete words. *Scientific Reports, 11*(1), 15727.

Budinger, E., Heil, P., Hess, A., Scheich, H. (2006). Multisensory processing via early cortical stages: Connections of the primary auditory cortical field with other sensory systems. *Neuroscience, 143*(4), 1065–1083. https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2006.08.035

Craighero, L. (2024). An embodied approach to fetal and newborn perceptual and sensorimotor development. *Brain and Cognition, 179*, 106184.

Cross, E. S., Hamilton, A. F. D. C., & Grafton, S. T. (2006). Building a motor simulation de novo: observation of dance by dancers. *Neuroimage, 31*(3), 1257–1267.

Enge, A., Friederici, A.D. (2021). A meta-analysis of fMRI studies of semantic cognition in children and adults. *Neuropsychologia, 159*, 107939.

Enge, A., Friederici, A.D., Skeide, M.A. (2020). A meta-analysis of fMRI studies of language comprehension in children. *NeuroImage, 215*, 116858. https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2020.116858

Fischer, M. H., & Zwaan, R. A. (2008). Embodied language: A review of the role of the motor system in language comprehension. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology, 61*(6), 825–850.

Galetzka, C. (2017). The story so far: How embodied cognition advances our understanding of meaning-making. *Frontiers in Psychology, 8*, 1315.

Ghyselinck, M., Lewis, M.B., Brysbaert, M. (2004). Age of acquisition and the cumulative-frequency hypothesis: A review of the literature and a new multi-task investigation. *Acta Psychologica, 115*(1), 43–67.

Glenberg, A.M., Kaschak, M.P. (2002). Grounding language in action. *Psychonomic Bulletin & Review, 9*(3), 558–565.

Glenberg, A.M., Witt, J.K., Metcalfe, J. (2013). From the revolution to embodiment: 25 years of cognitive psychology. *Perspectives on Psychological Science, 8*(5), 573–585.

Gottlieb, G. (1971). Ontogenesis of sensory function in birds and mammals. B E. Tobach, L.A. Aronson, & E. Shaw (Eds.), *The biopsychology of development* (c. 67–128). New York, London: Academic Press.

Grezes, J., & Decety, J. (2001). Functional anatomy of execution, mental simulation, observation, and verb generation of actions: A meta-analysis. *Human brain mapping, 12*(1), 1–19.

Hauk, O., Johnsrude, I., Pulvermuller, F. (2004). Somatotopic representation of action words in human motor and premotor cortex. *Neuron, 41*(2), 301–307.

Hinojosa, J. A., Moreno, E. M., & Ferré, P. (2020). Affective neurolinguistics: Towards a framework for reconciling language and emotion. Language, Cognition and Neuroscience, 35(7), 813–839.

Huth, A.G., De Heer, W.A., Griffiths, T.L., Theunissen, F.E., Gallant, J.L. (2016). Natural speech reveals the semantic maps that tile human cerebral cortex. *Nature, 532*(7600), 453–458.

Izura, C., Ellis, A.W. (2002). Age of acquisition effects in word recognition and production in first and second languages. *Psicológica, 23*, 245–281.

Khorisantono, P.A., Veldhuizen, M.G., Seubert, J. (2025). Tastes and retronasal odours evoke a shared flavour-specific neural code in the human insula. *Nature Communications, 16*(1), 8252. https://doi.org/10.1038/s41467-025-63803-6

Kiefer, M., Sim, E. J., Herrnberger, B., Grothe, J., & Hoenig, K. (2008). The sound of concepts: Four markers for a link between auditory and conceptual brain systems. *Journal of Neuroscience, 28*(47), 12224–12230.

Kolbeneva, M.G., Alexandrov, Y.I. (2016). Mental reactivation and pleasantness judgment of experience related to vision, hearing, skin sensations, taste and olfaction. *PLoS ONE, 11*(7), e0159036. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0159036

Lickliter, R. (2011). The integrated development of sensory organization. *Clinics in Perinatology, 38*(4), 591–603.

Liu, Y., Shu, H., Li, P. (2007). Word naming and psycholinguistic norms: Chinese. *Behavior Research Methods, 39*(2), 192–198.

Lohse, M., Zimmer-Harwood, P., Dahmen, J.C., King, A.J. (2022). Integration of somatosensory and motor-related information in the auditory system. *Frontiers in Neuroscience, 16*, 1010211.

Meschyan, G., Hernandez, A. (2002). Age of acquisition and word frequency: determinants of object-naming speed and accuracy. *Memory & Cognition, 30*(2), 262–269.

Noppeney, U., Price, C.J. (2004). Retrieval of abstract semantics. *NeuroImage, 22*(1), 164–170.

Ogawa, S., Lee, T.M., Kay, A.R., Tank, D.W. (1990). Brain magnetic resonance imaging with contrast dependent on blood oxygenation. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 87*(24), 9868–9872. https://doi.org/10.1073/pnas.87.24.9868

Paivio A. (1990). *Mental representations: A dual coding approach*. Oxford university press.

Paivio A. (2013). *Imagery and verbal processes*. Psychology Press.

Tettamanti, M., Buccino, G., Saccuman, M. C., Gallese, V., Danna, M., Scifo, P., Fazio, F., Rizzolatti, G., Cappa, S. F., Perani, D. (2005). Listening to action-related sentences activates fronto-parietal motor circuits. *Journal of cognitive neuroscience, 17*(2), 273–281.

Winter, B. (2016). Taste and smell words form an affectively loaded and emotionally flexible part of the English lexicon. *Language, Cognition and Neuroscience, 31*(8), 975–988.

Winter, B., Perlman, M., Majid, A. (2018). Vision dominates in perceptual language: English sensory vocabulary is optimized for usage. *Cognition, 179*, 213–220.

Поступила в редакцию: 08.10.2025

Поступила после рецензирования: 11.12.2025

Принята к публикации: 12.01.2026

Заявленный вклад авторов

Адита Валерьевна Пилечева – планирование и проведение эмпирического исследования, анализ и интерпретация полученных результатов, подготовка текста статьи.

Марина Геннадьевна Колбенева – участие в подготовке текста статьи.

Евгений Алексеевич Шапошников – статистическая обработка эмпирических данных, участие в подготовки текста статьи.

Елена Александровна Мершина – планирование и организация исследования.

Валентин Евгеньевич Синицын – планирование и организация исследования.

Юрий Иосифович Александров – концептуализация, критический пересмотр содержания статьи.

Информация об авторах

Адита Валерьевна Пилечева – младший научный сотрудник лаборатории психофизиологии имени В.Б. Швыркова, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт психологии Российской академии наук, Москва, Российская Федерация; научный сотрудник лаборатории прикладной и экспериментальной

психофизиологии, Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный исследовательский центр „Курчатовский институт“», Москва, Российская Федерация; лаборант-исследователь лаборатории психологии профессий и конфликта факультета психологии, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования „Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова“, Москва, Российская Федерация; Author ID: 1210068, ORCID ID: https://orcid.org/0009-0001-6075-8695; e-mail: Adita2010@yandex.ru

Марина Геннадьевна Колбенева – кандидат психологических наук, научный сотрудник лаборатории психофизиологии имени В.Б. Швыркова, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт психологии Российской академии наук, Москва, Российская Федерация; Researcher ID: AAD-2163-2022; Scopus ID: 35220038100; ID РИНЦ: 166579; ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-6171-2162; e-mail: kolbenevamarina@mail.ru

Евгений Алексеевич Шапошников – студент 6 курса факультета фундаментальной медицины МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Российская Федерация; младший научный сотрудник лаборатории психофизиологии имени В.Б. Швыркова, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт психологии Российской академии наук, Москва, Российская Федерация; ORCID ID: https://orcid.org/ 0009-0001-5339-6868; e-mail: Shaevalex@gmail.com

Елена Александровна Мершина – кандидат медицинских наук, доцент кафедры лучевой диагностики и цифровых технологий факультета фундаментальной медицины, Медицинский научно-образовательный институт МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Российская Федерация; Researcher ID: ABB-4969-2021; Scopus ID:12787891900; Author ID: 611250; ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-1266-4926; e-mail: elena_mershina@mail.ru

Валентин Евгеньевич Синицын – доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой лучевой диагностики и цифровых технологий факультета фундаментальной медицины, Медицинский научно-образовательный институт МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Российская Федерация; Researcher ID: A-5417-2016; Scopus ID: 7102735724; Author ID (РИНЦ): 8449-6590; ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-5649-2193; e-mail: vsini@mail.ru

Юрий Иосифович Александров – доктор психологических наук, академик РАО, профессор, заведующий лабораторией психофизиологии имени В.Б. Швыркова, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт психологии Российской академии наук, Москва, Российская Федерация; Researcher ID: O-6826-2015, Scopus ID: 7005342266, ID РИНЦ: 74403, ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-2644-3016; e-mail: yuraalexandrov@yandex.ru

Информация о конфликте интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.