

Роль окситоцина и вазопрессина в эмоциональной памяти и «чтении мыслей по лицу»: нейробиологический подход и клинические аспекты

Я.В. Горина^{1, 2}, О.Л. Лопатина^{1, 2}, Л.В. Марарица³

¹Красноярский государственный медицинский университет имени профессора В.Ф. Войно-Ясенецкого, Красноярск, Россия;

²Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия;

³Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Санкт-Петербург, Россия

Аннотация

Способность правильно воспринять и распознать эмоции является ключевым и универсальным инструментом в межличностном общении, который позволяет понять чувства, намерения и эмоциональные реакции – свои и другого человека. На протяжении всей жизни людям приходится делать выводы о психическом состоянии путём интерпретации тонких социальных сигналов, таких как выражение лица, чтобы осознать или предсказать поведение другого человека, что, несомненно, имеет решающее значение в выстраивании конструктивных социальных взаимодействий. В этой связи эмоциональная память, сопряжённая со способностью идентифицировать эмоции, базируясь на приобретённом жизненном опыте, является краеугольным камнем социального познания и межличностных отношений. Окситоцин и вазопрессин – два нейрогипофизарных пептида, которые привлекают внимание учёных за счёт их роли в реализации эмоциональных и социальных аспектов поведения. Установленные разнообразные и контрастирующие эффекты окситоцина и вазопрессина могут быть связаны с местом их активности в головном мозге.

Цель обзора – рассмотреть нейронные механизмы, лежащие в основе окситоцин- и вазопрессин-опосредованной модуляции эмоциональных воспоминаний, как церебральная окситоцин- и вазопрессин-сигнальная трансдукция опосредует эмоциональное и социальное поведение; обсудить роль двух нейропептидов в невербальном межличностном общении, а также представить их церебральные эффекты в отношении способности «чтения мысли по лицу» в контексте развития психоэмоциональных расстройств.

Ключевые слова: окситоцин; вазопрессин; эмоции; память

Источник финансирования. Статья подготовлена в результате проведения исследования по проекту «Воспринимаемое качество общения в реальных и компьютерно-опосредованных встречах и его объективные измерения на примере окситоцина и мимических маркеров» «Зеркальные лаборатории» НИУ ВШЭ в рамках стратегических проектов Программы 2030 НИУ ВШЭ.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Адрес для корреспонденции: 660022, Россия, Красноярск, ул. Партизана Железняка, д. 1 «3». Красноярский государственный медицинский университет им. проф. В.Ф. Войно-Ясенецкого. E-mail: yana_20@bk.ru. Горина Я.В.

Для цитирования: Горина Я.В., Лопатина О.Л., Марарица Л.В. Роль окситоцина и вазопрессина в эмоциональной памяти и «чтении мыслей по лицу»: нейробиологический подход и клинические аспекты. *Анналы клинической и экспериментальной неврологии*. 2024;18(3):58–71.

DOI: <https://doi.org/10.17816/ACEN.1047>

Поступила 04.10.2023 / Принята в печать 27.10.2023 / Опубликовано 30.09.2024

Oxytocin and Vasopressin in Emotional Memory and “Face Reading”: a Neurobiological Approach and Clinical Aspects

Yana V. Gorina^{1, 2}, Olga L. Lopatina^{1, 2}, Larisa V. Mararitsa³

¹Professor V.F. Voino-Yasenetsky Krasnoyarsk State Medical University, Krasnoyarsk, Russia;

²Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia;

³National Research University “Higher School of Economics”, St. Petersburg, Russia

Abstract

The ability to adequately perceive and recognize emotions is a key and universal tool in interpersonal communication, which allows people to understand feelings, intentions, and emotional reactions of themselves and others. Throughout their life, people have to make inferences about mental state of others by interpreting subtle social signals, such as facial expressions, to understand or predict others' behavior, which is crucial in constructive social interactions. Therefore, emotional memory associated with the ability to identify emotions based on one's life experience is the cornerstone of social cognition and interpersonal relationships. Oxytocin and vasopressin are neurohypophysial peptides that have attracted scientific attention due to their role in the emotional and social aspects of behavior. Variable and contrasting effects of oxytocin and vasopressin may be related to the sites of the brain where they exert their activity.

Aim. This review aimed to evaluate neural mechanisms underlying oxytocin-mediated and vasopressin-mediated modulation of emotional memory; to assess how cerebral oxytocin-signal and vasopressin-signal transduction mediates emotional and social behavior; to discuss the role of the two neuropeptides in non-verbal interpersonal communication; and to present their cerebral effects in relation to an ability for “face reading” in patients with mental disorders.

Keywords: oxytocin; vasopressin; emotions; memory

Source of funding. The article was prepared based on the study “Perceived quality of communication in real-world and computer-mediated meetings and its objective measurements using oxytocin and facial markers” conducted as part of Program 2030 Strategic Projects by Mirror Laboratories of National Research University Higher School of Economics.

Conflict of interest. The authors declare no apparent or potential conflicts of interest related to the publication of this article.

For correspondence: 1 «Z» Partizan Zheleznyak str., 660022, Krasnoyarsk, Russia. Professor V.F. Voino-Yasenetsky Krasnoyarsk State Medical University. E-mail: yana_20@bk.ru. Gorina Ya.V.

For citation: Gorina Ya.V., Lopatina O.L., Mararitsa L.V. The role of oxytocin and vasopressin in emotional memory and “face reading”: a neurobiological approach and clinical aspects. *Annals of Clinical and Experimental Neurology*. 2024;18(3):58–71.

DOI: <https://doi.org/10.17816/ACEN.1047>

Received 04.10.2023 / Accepted 27.10.2024 / Published 30.09.2024

Вплоть до XX в. эмоциональная сфера человека была предметом пристального внимания философов. Однако за последние несколько десятилетий появление новых высокоинформативных методов исследования структуры и функций мозга, в частности внедрение мощных инструментов нейровизуализации, позволяющих изучать локальные функции головного мозга во время чётко поставленных задач, привело к значительному улучшению понимания нейронных субстратов обработки эмоций [1, 2]. С точки зрения нейробиологии эмоции представляют собой программу сложных действий, запускаемую при наличии определённых внешних или внутренних по отношению к телу стимулов, которые активируют нервную систему [3]. Эмоция как базовая биологическая программа подразумевает наличие врождённо запрограммированного механизма, который связывает обработку сенсорного стимула,

сигнализирующего о чём-либо, с выработкой скоординированного паттерна поведенческих реакций [4]. Указанные эмоциональные процессы опосредуются и передаются определёнными гормонами, и одними из ведущих, несомненно, являются окситоцин (ОТ) и вазопрессин (ВП) [5, 6].

ОТ и ВП являются эволюционно высококонсервативными нейропептидами, которые привлекают значительное внимание учёных в результате открытия удивительных поведенческих функций, которые они регулируют, особенно в контексте социальных взаимодействий. Так, нейропептид ОТ модулирует широкий спектр форм поведения, включая материнскую заботу [7] и агрессию [8], создание парных связей [9], сексуальное поведение [10], социальную память [11] и поддержку [12], а также тревожное поведение и преодоление стресса [13, 14].

В противовес этому ВП оказывает сильное влияние на сложное социальное поведение и эмоциональные состояния, в большей степени типичные для мужчин, включая агрессию, страх и тревогу [15], а также повышенную бдительность и возбуждение [16].

При этом стоит отметить, что ОТ, изначально позиционируемый как «просоциальный» нейропептид, который усиливает социальную близость, привязанность и аффилиативное поведение, в более поздних исследованиях показал себя как эффективный регулятор в таких аспектах социального и эмоционального поведения, как социальный страх, гнев и зависть [17, 18]. Интересно, что лишь небольшая часть исследований посвящена влиянию ОТ и ВП на формирование эмоциональной памяти, в частности, памяти страха [19–22]. Тогда как память является фундаментальной когнитивной функцией, которая позволяет людям постоянно получать доступ к соответствующей информации и должным образом корректировать своё поведение после кодирования опыта.

Как известно, эмоции передают внутреннее эмоциональное состояние человека, а эмоциональная реакция позволяет связать текущие события с индивидуальным, конкретным, предшествующим опытом. В этом контексте эмоциональная память, сопряжённая со способностью идентифицировать эмоции, играет важную роль в межличностных отношениях [23, 24]. Чтение мыслей по лицу, то есть способность делать выводы о психических состояниях других, также называемая когнитивной эмпатией, является краеугольным камнем всех социальных взаимодействий. Способность отслеживать эмоциональное состояние человека с течением времени, делать выводы о его внутренних состояниях, исходя из внешних сигналов, таких как выражение лица, позволяет прогнозировать соответствующие поведенческие реакции [25].

Стоит отметить, что влияние ОТ и ВП на социальное познание стало предметом пристального внимания за последние два десятилетия. В частности, по результатам нескольких исследований введение ОТ улучшает способность идентифицировать широкий спектр эмоций [26–28], тогда как эффекты ВП отличались избирательностью в отношении эмоционального восприятия с выраженным преобладанием в распознавании отрицательных эмоций над положительными [29].

Эти важные открытия параллельно подняли вопрос о том, каким образом локальное высвобождение ОТ и ВП и последующие эффекты, опосредованные их рецепторами в областях-мишенях головного мозга, находят свое отражение в эмоциональных и социальных аспектах работы головного мозга с акцентом на распознавание эмоций, восприятие и запоминание эмоционально значимых сигналов.

Цель обзора – рассмотреть нейронные механизмы, лежащие в основе ОТ- и ВП-опосредованной модуляции эмоциональных воспоминаний, и то, как передача сигналов ОТ и ВП в специфических нейронных

цепях определённых областей головного мозга опосредует эмоциональное и социальное поведение. Также мы представляем роль ОТ и ВП в невербальном межличностном общении и рассматриваем недавние новаторские исследования по изучению их локальных эффектов в различных областях мозга в отношении способности «чтения мысли по лицу» при развитии психоэмоциональных расстройств.

Нейронные механизмы, лежащие в основе окситоцинергической модуляции эмоциональной памяти

Способность ОТ модулировать высшие функции головного мозга, такие как просоциальное поведение, социальное признание, вознаграждение, обучение и память, определяется особенностями нейронной сети в ядрах гипоталамуса, являющейся важной структурной основой согласованной активности нейронов ОТ в ответ на внешние стимулы. Более того, внегипоталамические области переднего мозга – миндалевидное тело, ядро ложа конечной полоски и прилежащее ядро прозрачной перегородки – также содержат ОТ-экспрессирующие нейроны, что определяет реализацию локального ОТ-ергического регуляторного эффекта [30]. Рецепторы ОТ присутствуют в областях мозга, имеющих решающее значение для обработки и кодирования информации и формирования памяти, включая гиппокамп, стриатум, миндалевидное тело, гипоталамус, прилежащее ядро и средний мозг [31].

В клиническом исследовании А. J. Guastella и соавт. показано, что ОТ усиливает кодирование преимущественно позитивных социальных стимулов (счастливые лица), делая информацию наиболее значимой и, соответственно, запоминающейся, при этом ослабляя консолидацию памяти в отношении сердитого или нейтрального выражения лица [32]. Последующее исследование показало, что уровень ОТ в слюне коррелирует с формированием памяти о конкретных социальных событиях с другими людьми. В частности, у матерей с зафиксированным высоким уровнем ОТ в слюне наблюдалась значимо большая детализация припоминания положительно окрашенных социальных событий, связанных с их детьми, что способствует формированию доверительных и тёплых детско-родительских отношений, а также в большей степени проявлению привязанности [33].

Согласно комплексному исследованию G. Plasencia и соавт. [34], у женщин уровень ОТ в плазме выше, чем у мужчин, а у пожилых людей уровень ВП в плазме выше, чем у молодых людей. Функционально более высокий уровень ВП был связан с проявлением выраженной тревожности, тогда как повышенный уровень ОТ и низкий уровень ВП коррелировали с более высокой скоростью обработки сенсомоторной информации и формированием вербальной памяти, причём эти эффекты особенно выражены у молодых мужчин. Выявленное различие в уровнях эндогенных нейропептидов в плазме у людей в зависимости от пола и возраста доказывает их существенное влияние в контексте противоположных эффектов на проявление привязанности и формирование социального познания (рис. 1).

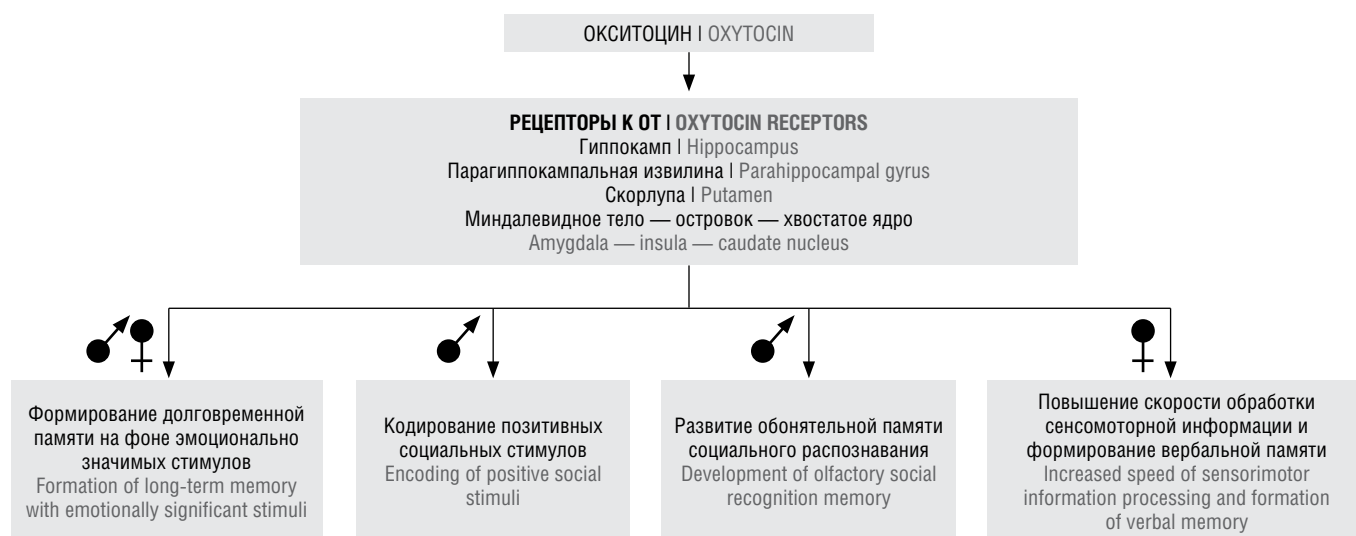


Рис. 1. ОТ-опосредованная модуляция эмоциональной памяти.

Fig. 1. Oxytocin-mediated modulation of emotional memory.

Весьма интересными являются экспериментальные данные на самках крыс [35], у которых стимуляция вагиноцервикального канала способствовала развитию обонятельной памяти социального распознавания за счёт высвобождения ОТ в обонятельной луковице и модуляции активности норадреналина.

Исследования на животных показали, что экзогенный ОТ может оказывать как промнестическое, так и амнестическое действие в зависимости от пола, дозы и контекста [36]. В частности, амнестические свойства интраназально введенного ОТ проявлялись в отношении способности запоминать семантические словесные стимулы с репродуктивным, а не нейтральным значением, что подразумевает избирательные эффекты ОТ на формирование памяти в зависимости от психобиологической значимости стимулов [37]. Примечательно, что воздействие интраназального ОТ на человеческую память весьма неоднозначное и зависит от времени и дозы введения нейропептида, а также характера используемых стимулов (эмоциональные или неэмоциональные). Так, данные о долговременной памяти неэмоциональных стимулов не выявили значимого влияния или даже ухудшения памяти, в то время как исследования с использованием эмоциональных факторов показали улучшение показателей долговременной памяти на фоне экзогенного ОТ [38].

Интересно, что столь избирательное ОТ-индуцированное улучшение обучения и памяти на фоне эмоционально значимых стимулов, вероятно, связано с усилением активации и образованием функциональных связей в тех областях мозга, которые ответственны за формирование эмоциональной памяти: миндалевидном теле, гиппокампе, парагиппокампальной извилине и скорлупе, а также между миндалевидным телом, островком и хвостатым ядром [39].

Более того, у мышей ОТ реверсировал индуцированное β -амилоидом нарушение синаптической пластичности

в гиппокампе за счёт фосфорилирования внеклеточной регулируемой протеинкиназы-1 и -2 (pERK1/2) и Ca^{2+} -проницаемых рецепторов α -амино-3-гидрокси-5-метил-4-изоксазолпропионовой кислоты [40], что свидетельствует о способности ОТ нивелировать β -амилоид-опосредованные токсические эффекты в отношении функционирования синапсов. Н.М. Latt и соавт. сообщили, что ОТ ингибирует апоптоз нейронов гиппокампа, вызванный кортикостероидом, посредством воздействия на рецепторы ОТ, что оказывает позитивный эффект в отношении синаптической пластичности и памяти на фоне стресса [41].

Вазопрессин-опосредованная модуляция памяти

Гиппокамп является критически важным центром формирования памяти и одной из основных структурных мишеней для ВП, что определяется высокой плотностью его рецепторов [42, 43]. Так, активация V1a-рецепторов ВП повышает функциональную активность как пирамидных нейронов в субикулюме — основании гиппокампа с разветвлённой нейронной сетью, которая обрабатывает сенсорные и двигательные сигналы для формирования когнитивной карты, кодирующей пространственную, контекстуальную и эмоциональную информацию [44], так и интернейронов в CA1-области гиппокампа [45]. Однако самая высокая плотность рецепторов ВП, особенно V1a-типа, обнаружена в зубчатой извилине гиппокампа, которая служит своеобразным фильтром, блокирующим или пропускающим информацию в гиппокамп [46]. На клеточном уровне продемонстрировано, что наномолярные концентрации ВП вызвали длительное увеличение амплитуды полевых возбуждающих постсинаптических потенциалов в нейронах зубчатой извилины гиппокампа, опосредованное V1a-рецептором [47]. В дополнение к этому интрацеребровентрикулярная инъекция ВП увеличивает долговременную потенциацию в зубчатой извилине у интактных анестезированных крыс [48], что подразумевает способность ВП увеличивать

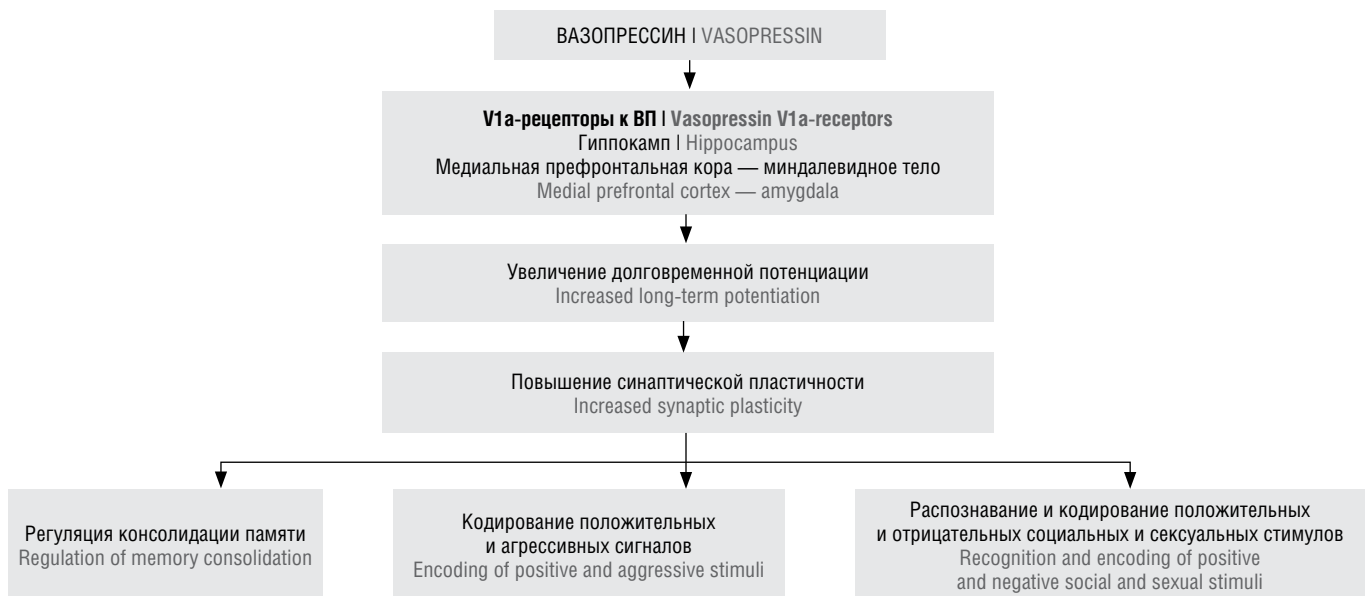


Рис. 2. Вазопрессинергическая модуляция памяти.

Fig. 2. Vasopressinergic memory modulation.

возбудимость нейронов. Это подтверждает и недавно проведенное исследование X. Zhang и соавт., по результатам которого интраназальное введение ВП оказывает позитивный эффект на синаптическую пластичность и связанную с ней кратковременную и долговременную память у мышей на фоне развития нейродегенерации альцгеймеровского типа (линия APP/PS1-AD) [49]. Весьма интересным является и установленное в ходе доклинических и клинических исследований непосредственное участие ВП в регуляции консолидации памяти во время сна, опосредованное активацией V1a-рецепторов, локализованных в гиппокампе [50].

Помимо указанных эффектов ВП на нейроны гиппокампа в контексте ремоделирования синаптической пластичности и формирования долговременной памяти, сообщалось о наличии возможной взаимосвязи между восприятием эмоциональной информации, памятью и активацией ВП (рис. 2).

В частности, A.J. Guastella и соавт. показали, что ВП значительно улучшает кодирование счастливых и сердитых лиц мужчин по сравнению с нейтральными, тем самым обозначая эмоционально выраженные стимулы как наиболее значимые и приоритетные для запоминания [51]. Такое специфическое влияние нейропептида на социальное познание, проявляющееся в усилении кодирования как положительных, так и агрессивных сигналов, может представлять собой один из механизмов, с помощью которого ВП может повысить изменчивость и пластичность поведенческих реакций в межличностных отношениях [52]. В смежном исследовании авторы обнаружили, что экзогенный ВП заметно улучшал распознавание и кодирование положительных и отрицательных социальных и сексуальных стимулов при сопоставлении с несоциальными, что демонстрирует возможное участие ВП в когнитивных механизмах, направленных на улучшение восприятия и реализацию сложного социального поведения [53].

Как предполагает ряд исследователей, указанные социальные и эмоциональные эффекты ВП опосредованы V1a-рецепторами, локализованными в целевых структурах мозга: латеральной перегородке, гипоталамусе, ядре ложа терминальной полоски, гиппокампе, миндалевидном теле и стволе мозга [54–57]. Среди них именно миндалевидное тело считается ключевой структурой, ответственной за обработку широкого спектра эмоций, в особенности реакции страха [58]. Так, установлено, что сенсорная информация от внешних раздражителей, которые являются предикторами реакции страха, достигает миндалевидного тела посредством таламических и корковых проводящих путей, которые проецируются в базолатеральные ядра миндалевидного тела – области локализации нейронных сетей, где за счёт долговременной модификации синапсов происходит формирование памяти страха [59]. Существующие данные показывают, что базолатеральная область миндалевидного тела контролирует вегетативные реакции на страх благодаря наличию тесной связи с периакведуктальным серым веществом среднего мозга, ретикулярной формацией и гипоталамусом, тем самым запуская присущие на предполагаемую угрозу реакции: защитное поведение, активацию симпатического отдела вегетативной нервной системы, гипоалгезию и высвобождение гормонов стресса [60, 61].

Регистрируя спонтанную пиковую активность в центральном ядре миндалевидного тела в острых срезах, D. Huber и соавт. обнаружили две различные популяции нейронов: одна возбуждалась активацией рецептора OT, а другая – напротив, ингибировалась, но при этом возбуждалась стимуляцией рецепторов ВП [62]. При этом нейрональные клетки, возбуждаемые ВП, локализовались как в центральном ядре миндалевидного тела, так и за его пределами.

Весьма интересны результаты исследования K. Motoki и соавт., согласно которым более высокий уровень ВП

в плазме положительно коррелирует с активацией миндалевидного тела у мужчин, тогда как у женщин данный эффект не наблюдается [6]. Столь выраженная поляриность может объясняться тем, что ВП-позитивные нейрональные клетки локализованы в миндалевидном теле, где более высокий уровень рецепторов ВП отмечается именно у самцов, а не у самок [63]. Также весьма неожиданными были сообщения авторов о том, что интенсивное высвобождение ВП в миндалевидном теле и префронтальной коре у самцов крыс наблюдалось в ответ на стресс низкой интенсивности [64]. При этом меньшая степень тревожной реакции зафиксирована у крыс после стресса высокой интенсивности и без видимых изменений показателя на фоне стресса низкой интенсивности. В то же время O.J. Bosch и соавт. обнаружили активное высвобождение ВП в центральном ядре миндалевидного тела у лактирующих крыс-самок на фоне высокой степени тревожности, что положительно коррелировало с проявлением агрессивного поведения [8].

Стоит отметить, что указанные гендерные различия в отношении уровня ВП и его взаимосвязи с эмоционально окрашенными событиями остаются до конца нерешёнными по причине имеющихся противоречивых данных и неясного молекулярно-клеточного механизма.

Необходимо также подчеркнуть, что ВП непосредственно оказывает влияние на активацию стрессового состояния как наиболее существенного фактора, способствующего консолидации памяти о страхе, а также ассоциативному обучению [65, 66]. При этом замечено, что уровень ВП заметно увеличивается в центральном ядре миндалевидного тела [67].

Более того, ВП не только модулирует ассоциативное обучение и выраженность страха во время стресса, но также влияет на восстановление выученного страха [22].

Примечательно и то, что, помимо указанных выше событий, миндалевидное тело участвует в реконсолидации воспоминаний о страхе и их угасании [68] – двух противоположных функций памяти в отношении контекстуального страха: реконсолидация поддерживает или усиливает память о страхе, тогда как угасание памяти представляет собой обучение, которое генерирует тормозные биохимические цепи реакций, подавляющие реакции страха [69]. Наиболее вероятным нейронным путём, опосредующим реакцию угасания страха, является путь от медиальной префронтальной коры до миндалевидного тела [59]. Как сообщают C.F. Zink и соавт., ВП модулирует активность пути «медиальная префронтальная кора – миндалевидное тело» и паттерны связи, что находит своё отражение в степени выраженности социального поведения, связанного со страхом и тревогой (рис. 2) [70]. Причём существующие данные указывают на то, что ОТ способствует угасанию выученного страха, а ВП препятствует этому [71]. Важно понимать, что пролонгированный страх может стать предиктором развития тревожных расстройств.

Учитывая достаточно глубоко изученную причинно-следственную связь между хроническим стрессом и аффектив-

ными расстройствами, были предприняты значительные усилия по поиску различных фармакологических подходов к лечению тревоги и депрессии. Так, R.A. Hodgson и соавт. предложили высокоселективный антагонист V1b-рецептора ВП – V1B-30N с хорошей биодоступностью при пероральном приёме, который, ингибируя активность V1b-рецептора, снижал уровень гормона стресса в плазме и обладал анксиолитическим эффектом [72]. Это дополнительно подтверждает существенную роль ВП в формировании эмоционально заряженных поведенческих реакций в контексте стресс-индуцированных событий, которые кодируются нейронной сетью «гиппокамп – миндалевидное тело – медиальная префронтальная кора» с последующей трансформацией в долговременную память эмоционально окрашенных событий.

Окситоцин как нейропептид-модулятор невербального межличностного общения

Зрительное восприятие лица в контексте межличностных отношений, как правило, носит неосознанный характер и позволяет извлекать социально значимую информацию, такую как пол, возраст и эмоциональное состояние, тем самым регулируя социальные взаимодействия с точки зрения приближения и/или избегания [73]. Достаточно внушительный объём исследований поддерживает гипотезу о влиянии ОТ на восприятие социальной информации, что отражается в регуляции социального поведения, индуцируя обработку положительных стимулов и ослабляя отрицательных, а также увеличивая значимость как социальных, так и эмоциональных стимулов [74–76] (рис. 3).

Так, у приматов экзогенный ОТ усиливает перцептивную значимость глаз и повышает склонность к взаимодействию с социальным партнёром в ответ на натуралистические социальные стимулы [77]. Причём такие эффекты ОТ проявляются при его однократном введении. В то же время L.A. Parr и соавт. отмечают, что при повторном введении ОТ обезьяны существенно больше проводили времени за просмотром видео, на котором отображалась динамическая мимика лица (облизывание губ и угрозы), при этом выборочно снижалось внимание к глазам на нейтральных лицах в зависимости от дозы ОТ [78]. Авторы предполагают, что возможным механизмом такого столь неожиданного непросоциального эффекта ОТ является подавление экспрессии рецепторов ОТ в областях мозга, ответственных за регуляцию социального внимания, в результате повторного введения нейропептида. Это ставит под сомнение эффективность длительного применения экзогенного ОТ в качестве фармакотерапии для лечения нарушений социального поведения.

Стоит отметить, что любое изображение лица несёт в себе одновременно признаки идентичности и выражения: кем является человек и какие чувства он испытывает. Это очевидно отличает визуальные стимулы от других, когда в любой момент времени лицо будет передавать несколько независимых сигналов, которые, как считается, обрабатываются нейронной сетью, распределённой во взаимосвязанных областях головного мозга, селективных к восприятию лица [79, 80].

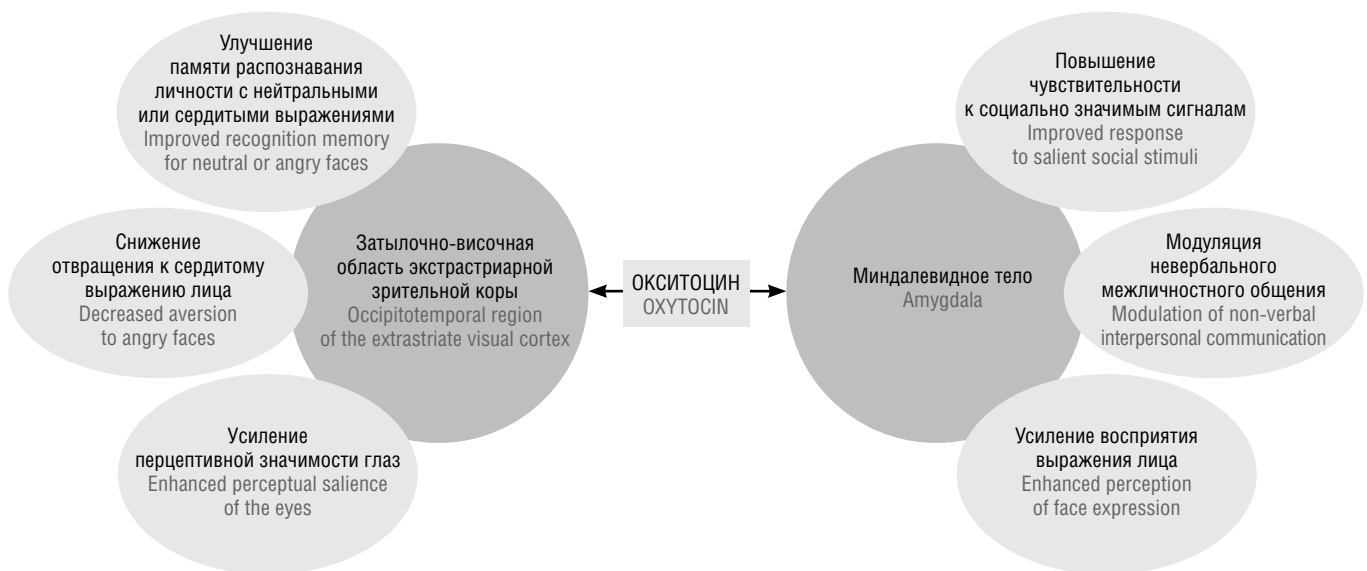


Рис. 3. Окситоцинергическая регуляция социального взаимодействия.

Fig. 3. Oxytocinergic regulation of social interaction.

Так, в эксперименте с участием людей интраназальное введение ОТ оказывало позитивный эффект в отношении памяти распознавания личности с нейтральным или сердитым, но не со счастливым выражением, независимо от пола. Однако ОТ совершенно не оказывал влияния на формирование памяти выражения лица. Такое селективное влияние ОТ в отношении памяти идентичности и выражения лица может способствовать модулированию социального поведения [81].

Примечательно, что ОТ способен модулировать осознание социально значимой эмоциональной информации в окружающей среде даже при краткосрочном (18, 35 или 53 мс) предъявлении стимула, что проявляется в улучшении степени зрительного восприятия лицевых стимулов с более выраженным эффектом относительно идентификации счастливых лиц [82].

Более того, ОТ специфически снижает отвращение к сердитому выражению лица, не влияя при этом на восприятие грустных лиц, которые также имеют отрицательную эмоциональную валентность. При этом финансовая обратная связь (вознаграждение) — как положительная (выигрыш), так и отрицательная (проигрыш) — не оказывала значимого воздействия на социальные предпочтения [83].

Вероятнее всего, указанные эффекты ОТ опосредованы активацией нейронной сети в затылочно-височных областях экстрастриарной зрительной коры, которые обеспечивают визуальный анализ лиц, а также веретенообразной извилины и верхней височной борозды, отвечающих за представление инвариантных и изменчивых аспектов выражения лица соответственно [84–86].

Другая точка зрения относительно влияния ОТ на социальное поведение связана с социальной значимостью. Было высказано предположение, что ОТ повышает чувствительность к значимым социальным сигналам [87, 88].

Иными словами, это трактуется как «гипотеза социальной значимости», которая согласуется с утверждениями ряда авторов об ОТ-индуцированном улучшении чтения мыслей глазами и увеличении зрительного контакта [75, 89, 90], тем самым способствуя модуляции невербального межличностного общения.

Несмотря на то что детальное понимание нейронных механизмов, лежащих в основе влияния ОТ на внимание к глазам, ещё не до конца сформировано, данные нейровизуализации свидетельствуют об участии миндалевидного тела во внимании к чертам лица в целом [91–94] и роли верхних холмиков в модуляции внимания к чертам лица с помощью ОТ [95].

Согласно сообщению J. Taubert и соавт. интраназальное введение ОТ в большей степени улучшает восприятие выражения лица, нежели его идентичность у макаков резусов [96]. Последующий детальный анализ показал, что это главным образом определяется наличием стимула, выражающего страх или агрессию, т. е. отрицательно окрашенные эмоции. Интересно, что точность в восприятии выражения лиц, причмокивающих губами, как признаке умиротворения и подчинения, имеющего положительную социальную ценность, у макаков резусов была заметно ниже. Столь избирательное влияние экзогенного ОТ на поведенческие реакции в отношении отрицательно окрашенных выражений лица подтверждает теорию о том, что эффекты ОТ настроены на социально-эмоциональную ценность визуального стимула, сигнализирующего о страхе или агрессии как признаке потенциальной опасности или враждебности. Причём данные эффекты опосредованы активацией сигнального пути ОТ, что способствует проявлению социального познания [96].

Имеющиеся на сегодняшний день данные, касающиеся влияния ОТ на визуальное сканирование эмоциональных лиц, весьма противоречивы. Так, по утверждению

А. Lischke и соавт., положительный эффект ОТ на распознавание эмоций может проявляться независимо от модуляции зрительного внимания к конкретной области лица в случае предъявления динамических выражений лица [28]. По предположениям авторов, ОТ-индуцированное улучшение распознавания эмоций обусловлено его непосредственным участием в формировании памяти на лица и выражения [97], что позволяет выявить соответствие представленного выражения лица с ранее запомненным. Отсутствие вовлечённости ОТ в визуальное внимание к области глаз, вероятно, связано с его способностью приоритизации – первоначально распределять ресурсы внимания на социальные сигналы. Это же подтверждают результаты, полученные несколько позже, согласно которым ОТ заметно сокращал время восприятия лица, не влияя на паттерны взгляда при просмотре статических эмоциональных лиц [98].

В то же время Sosnowski M.J. и соавт., рассматривая влияние эндо- и экзогенного ОТ на визуальное внимание к чертам лица, не обнаружили существенной разницы относительно акцентирования внимания обезьянами-капуцинами на область глаз или рта в тесте категоризации (направлен на причисление лиц мужского пола, изображённых на фотографии, к категории «доминирующие» или «подчинённые»), причём вне зависимости от способа поступления ОТ [99]. Вместе с тем последнее влияло на частоту и продолжительность взгляда на всё лицо: эндогенный ОТ, в отличие от экзогенного, увеличивал изучаемые параметры взгляда, что предполагает их различное влияние на характер взгляда.

Как видно, эффекты ОТ сильно зависят от индивидуальных черт личности и контекста [100, 101]. Учитывая тот факт, что ОТ не способствует исключительно позитивному социальному поведению у каждого и во всех ситуациях [18], нейропептид может повышать зрительное внимание к области глаз лица только при определённых условиях. В этом ключе вопрос о том, какие глубокие механизмы лежат в основе реализации эффектов ОТ в зависимости от особенности личности и ситуации, остаётся открытым. При этом «гипотеза социальной значимости» также не может в полной мере объяснить неоднозначность ОТ-индуцированных эффектов.

Модулирующее действие вазопрессина на восприятие и социальное поведение

Мгновенное, эффективное и точное восприятие выражений лица представляет собой фундаментальную и уникальную способность людей участвовать в межличностном общении. Растущее количество экспериментальных данных по нейровизуализации головного мозга в контексте эмпатии и распознавания эмоций демонстрирует, что ответственные за это нейронные цепи локализованы в основном в лимбической системе, префронтальной коре и лобно-теменной области [101–103]. В этой связи ВП является важным нейромодулятором активации именно тех областей мозга, которые непосредственно участвуют в регуляции эмоций, в частности, лимбической системы (поясная извилина, миндалевидное тело) [70]. Согласно сообщению R.R. Thompson и соавт., ВП про-

являет двойственные эффекты в отношении социальной коммуникации у мужчин и женщин [104]. Так, у мужчин экзогенный ВП стимулирует агонистические паттерны лицевой моторики и уменьшает доброжелательное восприятие в ответ на незнакомое лицо того же пола. Совершенно иначе обстоит у женщин – активируются affiliативные мимические двигательные паттерны и усиливается дружелюбное восприятие в ответ на лица незнакомых женщин. По утверждению авторов, эффекты ВП на вегетативные, двигательные и психологические реакции являлись результатом его обособленного воздействия в разных областях мозга. При этом столь контрастные эффекты ВП на паттерны социальной коммуникации у мужчин и женщин, вероятнее всего, являются следствием гендерного различия в распределении рецепторов ВП в мозге, когда ВП-индуцированная активация нейросети у мужчин побуждает к борьбе или бегству, а у женщин – к сотрудничеству и дружбе.

Примечательно, что в эксперименте F. Uzefovsky и соавт. экзогенный ВП вызывал заметное снижение способности мужчин распознавать эмоции других мужчин, ограничивая свои эффекты восприятием только отрицательных эмоций, что, безусловно, может ещё в большей степени стимулировать агрессию вследствие отсутствия эмпатии [29]. В дополнение к этому, R. Polk и соавт. по оценке степени участия ВП в социальном познании при старении выявили, что высокий уровень ВП в плазме не коррелирует с точностью динамической идентификации эмоций [105].

С другой стороны, некоторые авторы свидетельствуют о том, что ВП принимает непосредственное участие в формировании социальных связей, в частности, интраназальное введение ВП повышает готовность к взаимовыгодному сотрудничеству между незнакомцами [106, 107], а также избирательно улучшает человеческое восприятие сексуальных стимулов, независимо от положительной или отрицательной смысловой нагрузки [53]. Возможным нейронным механизмом, лежащим в основе повышения склонности к коллаборации, является ВП-индуцированное торможение активности левой дорсолатеральной префронтальной коры – области, ответственной за принятие решений в условиях риска, и усиление функциональной связи левой дорсолатеральной префронтальной коры с вентромедиальной частью полосатого тела [108]. В последнем как структурном компоненте базальных ганглиев, где сосредоточены с достаточной высокой плотностью как V1a-рецепторы ВП, так и рецепторы дофамина, происходит формирование системы вознаграждения как результата социального взаимодействия. Исходя из этого, взаимодействие дофаминергической и вазопрессинергической систем в вентромедиальной части полосатого тела кодирует выгодный компонент социальных взаимодействий, облегчая социальное узнавание и создание парных связей [109, 110].

X. Wu и соавт. выявили гендерно-специфические эффекты ВП в ответ на мимику лиц того же и другого пола, в частности, нейропептид у мужчин в значительной мере подавлял дружелюбное восприятие нейтральных и позитивных выражений мужских лиц, тогда как у женщин

способствовал усилению доброжелательного настроя в отношении негативных женских лиц [111]. Судя по всему, ВП в большей степени модулирует восприятие эмоциональных, нежели нейтральных сигналов. Причём столь отличительные эффекты ВП в отношении социально-эмоциональных стимулов непосредственно зависят от гендера и контекста.

Вместе это демонстрирует, что ВП оказывает гендерно-дифференцированное воздействие на социальное поведение и связанные с ним эмоционально окрашенные реакции.

Влияние окситоцина на способность «чтения мысли по лицу» при расстройствах психики

Учитывая критически важную роль ОТ в социальном познании (восприятие социальных сигналов, идентификация эмоциональных жестов тела, распознавание эмоций по лицу, решение эмоционально окрашенных ситуаций, поведение «приближение–избегание») и межличностном взаимодействии, ОТ-ергическая система является перспективной мишенью для лечения психоэмоциональных расстройств.

Крайне важно учитывать, что так называемое чтение мыслей по лицу требует быстрого и точного восприятия первичных социальных сигналов как основных коммуникативных инструментов для передачи необходимой социальной и контекстуальной информации, эмоциональной обратной связи, а также понимания социальных норм и способности вспоминать и приписывать различные эмоции каждому человеку. Указанные аспекты социального познания коренным образом нарушены у лиц с психическими расстройствами.

Так, согласно данным A. Vehlen и соавт., у пациентов с хроническим депрессивным расстройством в значительной степени сохраняется способность распознавать основные эмоции на лице, однако заметно снижено внимание к области вокруг глаз, причём последнее эффективно корректировалось интраназальным введением ОТ [112].

Оценивая взаимосвязь уровня эндогенного ОТ с точностью распознавания эмоций по лицу и поведением взгляда у пациентов с шизофренией, M.J. Spilka и соавт. пришли к выводу о том, что значительное снижение точности идентификации ярко выраженных испуганных и едва уловимых грустных выражений лица связано с низким уровнем ОТ в плазме [113]. При этом последнее совершенно не отражалось на зрительном внимании к характерным чертам лица.

По утверждениям В.В. Averbek и соавт., лишь однократное интраназальное введение ОТ в низкой дозировке (24 МЕ) пациентам с шизофренией улучшало способность идентифицировать большинство эмоций, независимо от предъявления фотографий лиц с нейтральным выражением и с включением эмоционального контекста (счастье, удивление, страх, печаль, отвращение, гнев) [114]. Однако это противоречит недавно опубликованным результатам рандомизированного двойного слепого исследования [115], согласно которым столь низкая

острая доза ОТ оказывает весьма ограниченное и незначительное воздействие на социально-эмоциональную обработку лица и абсолютно не влияет на продолжительность взгляда или время удержания взгляда на лицах. Это вполне согласуется с данными J.K. Wynn и соавт., которые с использованием электроэнцефалографии и пупиллометрии продемонстрировали, что средняя доза ОТ (36–48 МЕ) является оптимальной и эффективной для усиления распознавания эмоций пациентами с шизофренией [116].

В этом контексте длительная (4-месячная) терапия ОТ пациентов с шизофренией оказала благотворное воздействие на способность распознавать и понимать эмоциональные состояния других, что, несомненно, имеет решающее значение в межличностной коммуникации и социальном поведении [117].

В основе механизма ОТ-индуцированного улучшения социального познания у пациентов с шизофренией, по мнению R. Wigton и соавт., лежит ослабление нейронной активности в тех областях головного мозга, которые ответственны за ментализацию, обработку лицевых эмоций, значимость, отвращение, неуверенность и двусмысленность в восприятии социальных стимулов – в миндалевидном теле, височно-теменном соединении, задней поясной извилине коры, предклинье и островке [118].

В то же время, как было замечено L.R. Horta de Macedo и соавт., экзогенный ОТ у пациентов на фоне развития шизофрении не проявил выраженного эффекта в отношении способности сопоставления эмоций на лице [119]. По предположениям авторов, столь неожиданные результаты могут быть следствием использования более высокой дозировки ОТ (48 МЕ), а также специфики самого задания по сопоставлению, а не идентификации эмоций, как это было в предыдущих исследованиях.

Довольно неожиданными являются недавно опубликованные данные A. Schmidt и соавт., где продемонстрировано, что у лиц с клинически высоким риском психоза введение ОТ не оказывало существенного эффекта в отношении способности делать выводы о мыслях или убеждениях других [120]. Более того, наблюдалось снижение нейрональной активности в области двусторонней нижней лобной извилины при определении эмоций или чувств других. Ингибирование активности данной области головного мозга наблюдалось у лиц с клинически высоким риском психоза с исходно низкими социально-эмоциональными способностями. Это доказывает избирательное влияние ОТ на эмоциональную сферу в патофизиологических условиях и напрямую зависит от склонности к эмоциональному сопереживанию.

Нижняя лобная извилина является важной частью системы зеркальных нейронов, которая участвует в значимых аспектах социального взаимодействия – от имитации до эмоциональной эмпатии [121]. В этой связи нижняя лобная извилина представляет собой одну из тех структур, которая непосредственным образом задействована в задаче распознавания эмоций, таких как идентификация эмоциональной интонации [122] и оценка выражений

лица [123], являясь одной из основных мишеней нейрофизиологических эффектов ОТ.

Нарушения в восприятии эмоций и способности делать выводы о мыслях и убеждениях других как предикторы развития психоэмоциональных расстройств модулируются ОТ посредством избирательного воздействия на определённые регионы головного мозга, что, несомненно, является предпосылкой для разработки новых стратегий таргетной терапии социально-эмоциональных нарушений с целью их эффективной коррекции.

Роль вазопрессина в избирательной активации мозговой активности при восприятии эмоций на фоне развития психоэмоциональных расстройств

В. Bloch и соавт. продемонстрировали, что эффекты экзогенного ВП в отношении распознавания эмоций у лиц с шизофренией имеют разнонаправленный характер и непосредственно зависят от гендера [124]. Так, у мужчин введение ВП вызывало выраженное снижение способности распознавать сердитые лица, тогда как у женщин данный паттерн имел место в отношении грустных лиц. При этом именно у женщин выявлено ВП-индуцированное улучшение восприятия испуганного выражения лица.

Примечательно, что уровень эндогенного ВП у пациентов с шизофренией в значительной мере снижен, что коррелировало с тяжестью симптоматики и нарушением восприятия эмоций других [125].

Опираясь на данные нейровизуализационных исследований, L.H. Rubin и соавт. показали, что базальные уровни ВП у мужчин и женщин с шизофренией связаны с активностью в средней, медиальной и верхней лобных извилинах, а также поясной коре [126]. Причём характер модуляции ВП нейросетей в областях головного мозга, ответственных за социальное познание и идентификацию эмоций, у женщин и мужчин с шизофренией различен. В частности, у пациенток женского пола обнаружено торможение нейрональной активности, опосредованное ВП, в лобной коре (верхние лобные извилины), тогда как среди пациентов мужского пола, наоборот, наблюдалась активация нейросети в средней лобной извилине/поясной извилине. Установленная L.H. Rubin и соавт. взаимосвязь между избирательной модулирующей активностью ВП, областью головного мозга и полом определяет гендерную двойственную роль этого нейропептида в восприятии эмоций при развитии шизофрении.

Весьма неожиданное заключение было сделано D.S. Carson и соавт., согласно которому концентрация ВП в крови значимо и положительно коррелирует с его концентрацией в спинно-мозговой жидкости у людей с расстройством аутистического спектра в возрасте 4–64 лет, а также позволяет прогнозировать тяжесть симптоматики в контексте развития теории разума как способности адекватного восприятия и понимания эмоций, мыслей,

убеждений и желаний других людей [127]. Это ясно демонстрирует, что измерение уровня ВП в образцах крови может служить не только надёжным инструментом для закономерной оценки его активности в головном мозге, но и биомаркером нарушений социального познания у детей с расстройствами аутистического спектра.

В результате нейровизуализационного исследования X.J. Shou и соавт. показали, что развитие и прогрессирование расстройств аутистического спектра связаны с патологическими изменениями морфологии и функциональной активности тех областей головного мозга, в которых в наибольшей степени локализируются вазопрессинергические нейроны [128]. Так, у детей с расстройствами аутистического спектра отмечались уменьшение объёма серого вещества гипоталамуса и увеличение объёма левого миндалевидного тела и левого гиппокампа. По предположениям авторов, уменьшение объёма гипоталамуса может свидетельствовать о дисплазии нейронов и/или нейронию, приводя к снижению уровня ВП, что находит отражение в яркой проявленности специфической симптоматики. Более того, степень аномального расширения миндалевидного тела положительно коррелирует с тяжестью социальных и коммуникативных нарушений.

В этой связи ВП можно рассматривать в качестве одного из перспективных нейропептидов, влияющих на социальные и эмоциональные функции головного мозга в контексте межличностных отношений, что может быть полезно для понимания этиологии и нейробиологической основы расстройств психики.

Заключение

Исследования многогранных эффектов ОТ и ВП остаются захватывающим направлением для более глубокого понимания устройства и функционирования так называемого эмоционального и социального мозга. Накопленные за последние несколько десятилетий исследования значительно обогатили наши знания об ОТ- и ВП-ергической регуляции столь жизненно важных для социализации, эффективной и гибкой межличностной коммуникации процессов, как социальное познание, социальное поведение, распознавание эмоций, а также внимание и память к эмоционально значимым сигналам. Однако, учитывая порой противоречивые данные о влиянии ОТ и ВП на эмоциональную сферу и память, необходимы дальнейшие исследования по определению того, как контекстно-зависимые внутриклеточные сигнальные каскады вызывают конкретную поведенческую реакцию. Решение данной научной проблемы позволит получить уникальные знания об ОТ- и ВП-индуцированных клеточных ответах и сигнальных механизмах в нейросетях именно тех структур головного мозга, которые ответственны за реализацию поведения. Это, несомненно, станет определяющим в разработке более эффективных терапевтических стратегий с использованием ОТ и ВП и их аналогов для лечения психоэмоциональных расстройств.

Список источников / References

1. Ghodousi M., Pousson J.E., Bernhofs V., Griškova-Bulanova I. Assessment of different feature extraction methods for discriminating expressed emotions during music performance towards BCM1 application. *Sensors (Basel)*. 2023;23(4):2252. DOI: 10.3390/s23042252
2. Dolcos F., Denkova E. Current emotion research in cognitive neuroscience: linking enhancing and impairing effects of emotion on cognition. *Emot. Rev.* 2014;6(4):362–375. DOI: 10.1177/1754073914536449
3. Harrison N.A., Gray M.A., Gianaros P.J., Critchley H.D. The embodiment of emotional feelings in the brain. *J. Neurosci.* 2010;30(38):12878–12884. DOI: 10.1523/JNEUROSCI.1725-10.2010
4. Ekman P. Are there basic emotions? *Psychol. Rev.* 1992;99(3):550–553. DOI: 10.1037/0033-295X.99.3.550
5. Le J., Kou J., Zhao W. et al. Oxytocin facilitation of emotional empathy is associated with increased eye gaze toward the faces of individuals in emotional contexts. *Front. Neurosci.* 2020;14:803. DOI: 10.3389/fnins.2020.00803
6. Motoki K., Sugiura M., Takeuchi H. et al. Are plasma oxytocin and vasopressin levels reflective of amygdala activation during the processing of negative emotions? A preliminary study. *Front. Psychol.* 2016;7:480. DOI: 10.3389/fpsyg.2016.00480
7. Carcea I., Caraballo N.L., Marlin B.J. et al. Oxytocin neurons enable social transmission of maternal behavior. *Nature*. 2021;596(7873):553–557. DOI: 10.1038/s41586-021-03814-7
8. Bosch O.J., Neumann I.D. Both oxytocin and vasopressin are mediators of maternal care and aggression in rodents: from central release to sites of action. *Horm. Behav.* 2012;61(3):293–303. DOI: 10.1016/j.yhbeh.2011.11.002
9. Wang Z., Aragona B.J. Neurochemical regulation of pair bonding in male prairie voles. *Physiol. Behav.* 2004;83(2):319–328. DOI: 10.1016/j.physbeh.2004.08.024
10. Behnia B., Heinrichs M., Bergmann W. et al. Differential effects of intranasal oxytocin on sexual experiences and partner interactions in couples. *Horm. Behav.* 2014;65(3):308–318. DOI: 10.1016/j.yhbeh.2014.01.009
11. Bertoni A., Schaller F., Tyzio R. et al. Oxytocin administration in neonates shapes hippocampal circuitry and restores social behavior in a mouse model of autism. *Mol. Psychiatry*. 2021;26(12):7582–7595. DOI: 10.1038/s41380-021-01227-6
12. Baumgartner T., Heinrichs M., Vonlanthen A. et al. Oxytocin shapes the neural circuitry of trust and trust adaptation in humans. *Neuron*. 2008;58(4):639–650. DOI: 10.1016/j.neuron.2008.04.009
13. Li X.H., Matsuura T., Xue M. et al. Oxytocin in the anterior cingulate cortex attenuates neuropathic pain and emotional anxiety by inhibiting corticospinal long-term potentiation. *Cell Rep.* 2021;36(3):109411. DOI: 10.1016/j.celrep.2021.109411
14. La Fratta I., Franceschelli S., Speranza L. et al. Salivary oxytocin, cognitive anxiety and self-confidence in pre-competition athletes. *Sci. Rep.* 2021;11(1):16877. DOI: 10.1038/s41598-021-96392-7
15. Taylor J.H., Walton J.C., McCann K.E. et al. CRISPR-Cas9 editing of the arginine-vasopressin V1a receptor produces paradoxical changes in social behavior in Syrian hamsters. *Proc. Natl. Acad. Sci. U S A*. 2022;119(19):e2121037119. DOI: 10.1073/pnas.2121037119
16. Freeman A.R., Hare J.F., Anderson W.G., Caldwell H.K. Effects of arginine vasopressin on Richardson's ground squirrel social and vocal behavior. *Behav. Neurosci.* 2018;132(1):34–50. DOI: 10.1037/bne0000225
17. Domes G., Normann C., Heinrichs M. The effect of oxytocin on attention to angry and happy faces in chronic depression. *BMC Psychiatry*. 2016;16:92. DOI: 10.1186/s12888-016-0794-9
18. Shamay-Tsoory S.G., Fischer M., Dvash J. et al. Intranasal administration of oxytocin increases envy and Schadenfreude (gloating). *Biol. Psychiatry*. 2009;66(9):864–870. DOI: 10.1016/j.biopsych.2009.06.009
19. Hasan M.T., Althammer F., Silva da Gouveia M. A fear memory engraving and its plasticity in the hypothalamic oxytocin system. *Neuron*. 2019;103(1):133–146.e8. DOI: 10.1016/j.neuron.2019.04.029
20. Campbell-Smith E.J., Holmes N.M., Lingawi N.W. et al. Oxytocin signaling in basolateral and central amygdala nuclei differentially regulates the acquisition, expression, and extinction of context-conditioned fear in rats. *Learn Mem.* 2015;22(5):247–257. DOI: 10.1101/lm.036962.114
21. Knobloch H.S., Charlet A., Hoffmann L.C. et al. Evoked axonal oxytocin release in the central amygdala attenuates fear response. *Neuron*. 2012;73(3):553–566. DOI: 10.1016/j.neuron.2011.11.030
22. Viviani D., Stoop R. Opposite effects of oxytocin and vasopressin on the emotional expression of the fear response. *Prog. Brain Res.* 2008;170:207–218. DOI: 10.1016/S0079-6123(08)00418-4
23. Steidl S., Razik F., Anderson A.K. Emotion enhanced retention of cognitive skill learning. *Emotion*. 2011;11(1):12–19. DOI: 10.1037/a0020288
24. Steidl S., Mohi-uddin S., Anderson A.K. Effects of emotional arousal on multiple memory systems: evidence from declarative and procedural learning. *Learn Mem.* 2006;13(5):650–658. DOI: 10.1101/lm.324406
25. Maliske L.Z., Schurz M., Kanske P. Interactions within the social brain: co-activation and connectivity among networks enabling empathy and theory of mind. *Neurosci. Biobehav. Rev.* 2023;147:105080. DOI: 10.1016/j.neubiorev.2023.105080
26. Matsunaga M., Kikusui T., Mogi K. et al. Breastfeeding dynamically changes endogenous oxytocin levels and emotion recognition in mothers. *Biol. Lett.* 2020;16(6):20200139. DOI: 10.1098/rsbl.2020.0139
27. Ferretti V., Maltese F., Contarini G. et al. Oxytocin signaling in the central amygdala modulates emotion discrimination in mice. *Curr. Biol.* 2019;29(12):1938–1953.e6. DOI: 10.1016/j.cub.2019.04.070
28. Lischke A., Berger C., Prehn K. et al. Intranasal oxytocin enhances emotion recognition from dynamic facial expressions and leaves eye-gaze unaffected. *Psychoneuroendocrinology*. 2012;37(4):475–481. DOI: 10.1016/j.psyneuen.2011.07.015
29. Uzefovsky F., Shalev I., Israel S. et al. Vasopressin selectively impairs emotion recognition in men. *Psychoneuroendocrinology*. 2012;37(4):576–580. DOI: 10.1016/j.psyneuen.2011.07.018
30. Knobloch H.S., Grinevich V. Evolution of oxytocin pathways in the brain of vertebrates. *Front. Behav. Neurosci.* 2014;8:31. DOI: 10.3389/fnbeh.2014.00031
31. Gimpl G., Fahrenholz F. The oxytocin receptor system: structure, function, and regulation. *Physiol. Rev.* 2001;81(2):629–683. DOI: 10.1152/physrev.2001.81.2.629
32. Guastella A.J., Mitchell P.B., Mathews F. Oxytocin enhances the encoding of positive social memories in humans. *Biol. Psychiatry*. 2008;64(3):256–258. DOI: 10.1016/j.biopsych.2008.02.008
33. Tse W.S., Siu A.F.Y., Zhang Q., Chan H.Y.E. Maternal oxytocin responsiveness improves specificity of positive social memory recall. *Psychoneuroendocrinology*. 2018;98:148–152. DOI: 10.1016/j.psyneuen.2018.08.026
34. Plasencia G., Luedicke J.M., Nazarloo H.P. et al. Plasma oxytocin and vasopressin levels in young and older men and women: functional relationships with attachment and cognition. *Psychoneuroendocrinology*. 2019;110:104419. DOI: 10.1016/j.psyneuen.2019.104419
35. Larrazolo-López A., Kendrick K.M., Aburto-Arciniega M. et al. Vagino-cervical stimulation enhances social recognition memory in rats via oxytocin release in the olfactory bulb. *Neuroscience*. 2008;152(3):585–593. DOI: 10.1016/j.neuroscience.2008.01.024
36. Chini B., Leonzino M., Braidà D., Sala M. Learning about oxytocin: pharmacologic and behavioral issues. *Biol. Psychiatry*. 2014;76(5):360–366. DOI: 10.1016/j.biopsych.2013.08.029
37. Heinrichs M., Meinlschmidt G., Wippich W. et al. Selective amnesic effects of oxytocin on human memory. *Physiol. Behav.* 2004;83(1):31–38. DOI: 10.1016/j.physbeh.2004.07.020
38. Brambilla M., Manenti R., de Girolamo G. et al. Effects of intranasal oxytocin on long-term memory in healthy humans: a systematic review. *Drug Dev. Res.* 2016;77(8):479–488. DOI: 10.1002/ddr.21343
39. Hu J., Qi S., Becker B. et al. Oxytocin selectively facilitates learning with social feedback and increases activity and functional connectivity in emotional memory and reward processing regions. *Hum. Brain Mapp.* 2015;36(6):2132–2146. DOI: 10.1002/hbm.22760
40. Takahashi J., Yamada D., Ueta Y. et al. Oxytocin reverses Aβ-induced impairment of hippocampal synaptic plasticity in mice. *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 2020;528(1):174–178. DOI: 10.1016/j.bbrc.2020.04.046
41. Latt H.M., Matsushita H., Morino M. et al. Oxytocin inhibits corticosterone-induced apoptosis in primary hippocampal neurons. *Neuroscience*. 2018;379:383–389. DOI: 10.1016/j.neuroscience.2018.03.025
42. Leroy F., Park J., Asok A. et al. A circuit from hippocampal CA2 to lateral septum disinhibits social aggression. *Nature*. 2018;564(7735):213–218. DOI: 10.1038/s41586-018-0772-0
43. Finton C.J., Ophir A.G. Developmental exposure to intranasal vasopressin impacts adult prairie vole spatial memory. *Psychoneuroendocrinology*. 2022;141:105750. DOI: 10.1016/j.psyneuen.2022.105750
44. Lei S., Hu B., Rezagholizadeh N. Activation of V1a vasopressin receptors excite subicular pyramidal neurons by activating TRPV1 and depressing GIRK channels. *Neuropharmacology*. 2021;190:108565. DOI: 10.1016/j.neuropharm.2021.108565

45. Ramanathan G., Cilz N.I., Kurada L. et al. Vasopressin facilitates GABAergic transmission in rat hippocampus via activation of V(1A) receptors. *Neuropharmacology*. 2012;63(7):1218–1226. DOI: 10.1016/j.neuropharm.2012.07.043
46. Hsu D. The dentate gyrus as a filter or gate: a look back and a look ahead. *Prog. Brain Res.* 2007;163:601–613. DOI: 10.1016/S0079-6123(07)63032-5
47. Chen C., Diaz Brinton R.D., Shors T.J., Thompson R.F. Vasopressin induction of long-lasting potentiation of synaptic transmission in the dentate gyrus. *Hippocampus*. 1993;3(2):193–203. DOI: 10.1002/hipo.450030211
48. Dubrovsky B., Tatarinov A., Gijssbers K. et al. Effects of arginine-vasopressin (AVP) on long-term potentiation in intact anesthetized rats. *Brain Res. Bull.* 2003;59(6):467–472. DOI: 10.1016/S0361-9230(02)00961-9
49. Zhang X., Zhao F., Wang C. et al. AVP(4-8) improves cognitive behaviors and hippocampal synaptic plasticity in the APP/PS1 mouse model of Alzheimer's disease. *Neurosci. Bull.* 2020;36(3):254–262. DOI: 10.1007/s12264-019-00434-0
50. Török B., Varga J., Zelena D. Vasopressin as a possible link between sleep-disturbances and memory problems. *Int. J. Mol. Sci.* 2022;23(24):15467. DOI: 10.3390/ijms232415467
51. Guastella A.J., Kenyon A.R., Alvares G.A. et al. Intranasal arginine vasopressin enhances the encoding of happy and angry faces in humans. *Biol. Psychiatry*. 2010;67(12):1220–1222. DOI: 10.1016/j.biopsych.2010.03.014
52. Chatav Y., Whisman M.A. Partner schemas and relationship functioning: a states of mind analysis. *Behav. Ther.* 2009;40(1):50–56. DOI: 10.1016/j.beth.2007.12.005
53. Guastella A.J., Kenyon A.R., Unkelbach C. et al. Arginine vasopressin selectively enhances recognition of sexual cues in male humans. *Psychoneuroendocrinology*. 2011;36(2):294–297. DOI: 10.1016/j.psyneuen.2010.07.023
54. Duque-Wilckens N., Steinman M.Q., Laredo S.A. et al. Inhibition of vasopressin V1a receptors in the medioventral bed nucleus of the stria terminalis has sex- and context-specific anxiogenic effects. *Neuropharmacology*. 2016;110(Pt A):59–68. DOI: 10.1016/j.neuropharm.2016.07.018
55. Bielsky I.F., Hu S.B., Ren X. et al. The V1a vasopressin receptor is necessary and sufficient for normal social recognition: a gene replacement study. *Neuron*. 2005;47(4):503–513. DOI: 10.1016/j.neuron.2005.06.031
56. Bredewold R., Smith C.J.W., Dumais K.M., Veenema A.H. Sex-specific modulation of juvenile social play behavior by vasopressin and oxytocin depends on social context. *Front. Behav. Neurosci.* 2014;8:216. DOI: 10.3389/fnbeh.2014.00216
57. Gobrogge K.L., Liu Y., Young L.J., Wang Z. Anterior hypothalamic vasopressin regulates pair-bonding and drug-induced aggression in a monogamous rodent. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 2009;106(45):19144–19149. DOI: 10.1073/pnas.0908620106
58. Sun Y., Gooch H., Sah P. Fear conditioning and the basolateral amygdala. *F1000Res*. 2020;9:F1000 Faculty Rev-53. DOI: 10.12688/f1000research.21201.1
59. Song C., Ehlers V.L., Moyer J.R.Jr. Trace fear conditioning differentially modulates intrinsic excitability of medial prefrontal cortex-basolateral complex of amygdala projection neurons in infralimbic and prelimbic cortices. *J. Neurosci.* 2015;35(39):13511–13524. DOI: 10.1523/JNEUROSCI.2329-15.2015
60. Martinez R.C.R., de Oliveira A.R., Brandão M.L. Conditioned and unconditioned fear organized in the periaqueductal gray are differentially sensitive to injections of muscimol into amygdaloid nuclei. *Neurobiol. Learn Mem.* 2006;85(1):58–65. DOI: 10.1016/j.nlm.2005.08.007
61. Gu Y., Piper W.T., Branigan L.A. et al. A brainstem-central amygdala circuit underlies defensive responses to learned threats. *Mol. Psychiatry*. 2020;25(3):640–654. DOI: 10.1038/s41380-019-0599-6
62. Hubber D., Veinante P., Stoop R. Vasopressin and oxytocin excite distinct neuronal populations in the central amygdala. *Science*. 2005;308(5719):245–248. DOI: 10.1126/science.1105636
63. Rood B.D., Stott R.T., You S. et al. Site of origin of and sex differences in the vasopressin innervation of the mouse (*Mus musculus*) brain. *J. Comp. Neurol.* 2013;521(10):2321–2358. DOI: 10.1002/cne.23288
64. Karakilic A., Kizildag S., Kandis S. et al. The effects of acute foot shock stress on empathy levels in rats. *Behav. Brain Res.* 2018;349:31–36. DOI: 10.1016/j.bbr.2018.04.043
65. Merali Z., Hayley S., Kent P. et al. Impact of repeated stressor exposure on the release of corticotropin-releasing hormone, arginine-vasopressin and bombesin-like peptides at the anterior pituitary. *Behav. Brain Res.* 2009;198(1):105–112. DOI: 10.1016/j.bbr.2008.10.025
66. Croiset G., Nijssen M.J., Kamphuis P.J. Role of corticotropin-releasing factor, vasopressin and the autonomic nervous system in learning and memory. *Eur. J. Pharmacol.* 2000;405(1-3):225–234. DOI: 10.1016/S0014-2999(00)00556-2
67. Tong W.H., Abdulai-Saiku S., Vyas A. Arginine vasopressin in the medial amygdala causes greater post-stress recruitment of hypothalamic vasopressin neurons. *Mol. Brain*. 2021;14(1):141. DOI: 10.1186/s13041-021-00850-2
68. Ehrlich I., Humeau Y., Grenier F. et al. Amygdala inhibitory circuits and the control of fear memory. *Neuron*. 2009;62(6):757–771. DOI: 10.1016/j.neuron.2009.05.026
69. Kida S. Interaction between reconsolidation and extinction of fear memory. *Brain Res. Bull.* 2023;195:141–144. DOI: 10.1016/j.brainresbull.2023.02.009
70. Zink C.F., Stein J.L., Kempf L. et al. Vasopressin modulates medial prefrontal cortex-amygdala circuitry during emotion processing in humans. *J. Neurosci.* 2010;30(20):7017–7022. DOI: 10.1523/JNEUROSCI.4899-09.2010
71. Zoicas I., Slattery D.A., Neumann I.D. Brain oxytocin in social fear conditioning and its extinction: involvement of the lateral septum. *Neuropsychopharmacology*. 2014;39(13):3027–3035. DOI: 10.1038/npp.2014.156
72. Hodgson R.A., Mullins D., Lu S.X. et al. Characterization of a novel vasopressin V1b receptor antagonist, V1B-30N, in animal models of anxiety-like and depression-like behavior. *Eur. J. Pharmacol.* 2014;730:157–163. DOI: 10.1016/j.ejphar.2014.02.027
73. Brooks J.A., Freeman J.B. Neuroimaging of person perception: a social-visual interface. *Neurosci. Lett.* 2019;693:40–43. DOI: 10.1016/j.neulet.2017.12.046
74. Wang T., Tang Q., Wu X., Chen X. Attachment anxiety moderates the effect of oxytocin on negative emotion recognition: Evidence from eye-movement data. *Pharmacol. Biochem. Behav.* 2020;198:173015. DOI: 10.1016/j.pbb.2020.173015
75. Guastella A.J., Mitchell P.B., Dadds M.R. Oxytocin increases gaze to the eye region of human faces. *Biol. Psychiatry*. 2008;63(1):3–5. DOI: 10.1016/j.biopsych.2007.06.026
76. Leppanen J., Ng K.W., Tchanturia K., Treasure J. Meta-analysis of the effects of intranasal oxytocin on interpretation and expression of emotions. *Neurosci. Biobehav. Rev.* 2017;78:125–144. DOI: 10.1016/j.neubiorev.2017.04.010
77. Putnam P.T., Roman J.M., Zimmerman P.E., Gothard K.M. Oxytocin enhances gaze-following responses to videos of natural social behavior in adult male rhesus monkeys. *Psychoneuroendocrinology*. 2016;72:47–53. DOI: 10.1016/j.psyneuen.2016.05.016
78. Parr L.A., Brooks J.M., Jonesteller T. et al. Effects of chronic oxytocin on attention to dynamic facial expressions in infant macaques. *Psychoneuroendocrinology*. 2016;74:149–157. DOI: 10.1016/j.psyneuen.2016.08.028
79. Grill-Spector K., Weiner K.S., Kay K., Gomez J. The functional neuroanatomy of human face perception. *Annu. Rev. Vis. Sci.* 2017;3:167–196. DOI: 10.1146/annurev-vision-102016-061214
80. Freiwald W., Duchaine B., Yovel G. Face processing systems: from neurons to real-world social perception. *Annu. Rev. Neurosci.* 2016;39:325–346. DOI: 10.1146/annurev-neuro-070815-013934
81. Savaskan E., Ehrhardt R., Schulz A. et al. Post-learning intranasal oxytocin modulates human memory for facial identity. *Psychoneuroendocrinology*. 2008;33(3):368–374. DOI: 10.1016/j.psyneuen.2007.12.004
82. Schulze L., Lischke A., Greif J. et al. Oxytocin increases recognition of masked emotional faces. *Psychoneuroendocrinology*. 2011;36(9):1378–1382. DOI: 10.1016/j.psyneuen.2011.03.011
83. Evans S., Shergill S.S., Averbeck B.B. Oxytocin decreases aversion to angry faces in an associative learning task. *Neuropsychopharmacology*. 2010;35(13):2502–2509. DOI: 10.1038/npp.2010.110
84. Andrews T.J., Ewbank M.P. Distinct representations for facial identity and changeable aspects of faces in the human temporal lobe. *Neuroimage*. 2004;23(3):905–913. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2004.07.060
85. Pourtois G., Schwartz S., Spiridon M. et al. Object representations for multiple visual categories overlap in lateral occipital and medial fusiform cortex. *Cereb. Cortex*. 2009;19(8):1806–1819. DOI: 10.1093/cercor/bhn210
86. Vuilleumier P., Pourtois G. Distributed and interactive brain mechanisms during emotion face perception: evidence from functional neuroimaging. *Neuropsychologia*. 2007;45(1):174–194. DOI: 10.1016/j.neuropsychologia.2006.06.003
87. Parr L.A., Mitchell T., Hecht E. Intranasal oxytocin in rhesus monkeys alters brain networks that detect social salience and reward. *Am. J. Primatol.* 2018;80(10):e22915. DOI: 10.1002/ajp.22915
88. Liu P., Lin T., Feifel D., Ebner N.C. Intranasal oxytocin modulates the salience network in aging. *Neuroimage*. 2022;253:119045. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2022.119045
89. Domes G., Steiner A., Porges S.W., Heinrichs M. Oxytocin differentially modulates eye gaze to naturalistic social signals of happiness and anger. *Psychoneuroendocrinology*. 2013;38(7):1198–1202. DOI: 10.1016/j.psyneuen.2012.10.002

90. Domes G., Heinrichs M., Michel A. et al. Oxytocin improves "mind-reading" in humans. *Biol. Psychiatry*. 2007;61(6):731–733. DOI: 10.1016/j.biopsych.2006.07.015
91. Adolphs R., Spezio M. Role of the amygdala in processing visual social stimuli. *Prog. Brain Res.* 2006;156:363–378. DOI: 10.1016/S0079-6123(06)56020-0
92. Todorov A. The role of the amygdala in face perception and evaluation. *Motiv. Emot.* 2012;36(1):16–26. DOI: 10.1007/s11031-011-9238-5
93. Said C.P., Dotsch R., Todorov A. The amygdala and FFA track both social and non-social face dimensions. *Neuropsychologia*. 2010;48(12):3596–3605. DOI: 10.1016/j.neuropsychologia.2010.08.009
94. Mende-Siedlecki P., Said C.P., Todorov A. The social evaluation of faces: a meta-analysis of functional neuroimaging studies. *Soc. Cogn. Affect. Neurosci.* 2013;8(3):285–299. DOI: 10.1093/scan/nsr090
95. Gamer M., Zurowski B., Büchel C. Different amygdala subregions mediate valence-related and attentional effects of oxytocin in humans. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 2010;107(20):9400–9405. DOI: 10.1073/pnas.1000985107
96. Taubert J., Flessert M., Liu N., Ungerleider L.G. Intranasal oxytocin selectively modulates the behavior of rhesus monkeys in an expression matching task. *Sci. Rep.* 2019;9(1):15187. DOI: 10.1038/s41598-019-51422-3
97. Herzmann G., Bird C.W., Freeman M., Curran T. Effects of oxytocin on behavioral and ERP measures of recognition memory for own-race and other-race faces in women and men. *Psychoneuroendocrinology*. 2013;38(10):2140–2151. DOI: 10.1016/j.psyneuen.2013.04.002
98. Hubble K., Daughters K., Manstead A.S.R. et al. Oxytocin reduces face processing time but leaves recognition accuracy and eye-gaze unaffected. *J. Int. Neuropsychol. Soc.* 2017;23(1):23–33. DOI: 10.1017/S1355617716000886
99. Sosnowski M.J., Kano F., Brosnan S.F. Oxytocin and social gaze during a dominance categorization task in tufted capuchin monkeys. *Front. Psychol.* 2022;13: 977771. DOI: 10.3389/fpsyg.2022.977771
100. Bartz J.A., Zaki J., Bolger N., Ochsner K.N. Social effects of oxytocin in humans: context and person matter. *Trends Cogn. Sci.* 2011;15(7):301–309. DOI: 10.1016/j.tics.2011.05.002
101. Egitto J.H., Nevat M., Shamay-Tsoory S.G., Osório A.A.C. Oxytocin increases the social salience of the outgroup in potential threat contexts. *Horm. Behav.* 2020;122:104733. DOI: 10.1016/j.yhbeh.2020.104733
102. Chang Y.C., Hsing Y.C. Emotion-infused deep neural network for emotionally resonant conversation. *Applied Soft Computing*. 2021;113:107861. DOI:10.1016/j.asoc.2021.107861
103. Fallon N., Roberts C., Stancak A. Shared and distinct functional networks for empathy and pain processing: a systematic review and meta-analysis of fMRI studies. *Soc. Cogn. Affect. Neurosci.* 2020;15(7):709–723. DOI: 10.1093/scan/nsaa090
104. Thompson R.R., George K., Walton J.C. et al. Sex-specific influences of vasopressin on human social communication. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 2006;103(20):7889–7894. DOI: 10.1073/pnas.0600406103
105. Polk R., Horta M., Lin T. et al. Evaluating the neuropeptide-social cognition link in ageing: the mediating role of basic cognitive skills. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B. Biol. Sci.* 2022;377(1858):20210048. DOI: 10.1098/rstb.2021.0048
106. Brunnlieb C., Nave G., Camerer C.F. et al. Vasopressin increases human risky cooperative behavior. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 2016;113(8):2051–2056. DOI: 10.1073/pnas.1518825113
107. Feng C., Hackett P.D., DeMarco A.C. et al. Oxytocin and vasopressin effects on the neural response to social cooperation are modulated by sex in humans. *Brain Imaging Behav.* 2015;9(4):754–764. DOI: 10.1007/s11682-014-9333-9
108. Yamamoto D.J., Woo C.W., Wager T.D. et al. Influence of dorsolateral prefrontal cortex and ventral striatum on risk avoidance in addiction: a mediation analysis. *Drug Alcohol Depend.* 2015;149:10–17. DOI: 10.1016/j.drugalcdep.2014.12.026
109. Lim M.M., Young L.J. Vasopressin-dependent neural circuits underlying pair bond formation in the monogamous prairie vole. *Neuroscience*. 2004;125(1):35–45. DOI: 10.1016/j.neuroscience.2003.12.008
110. Nair H.P., Young L.J. Vasopressin and pair-bond formation: genes to brain to behavior. *Physiology (Bethesda)*. 2006;21:146–152. DOI: 10.1152/physiol.00049.2005
111. Wu X., Feng C., He Z. et al. Gender-specific effects of vasopressin on human social communication: an ERP study. *Horm. Behav.* 2019;113:85–94. DOI: 10.1016/j.yhbeh.2019.04.014
112. Vehlen A., Kellner A., Normann C. et al. Reduced eye gaze during facial emotion recognition in chronic depression: effects of intranasal oxytocin. *J. Psychiatr. Res.* 2023;159:50–56. DOI: 10.1016/j.jpsychires.2023.01.016
113. Spilka M.J., Keller W.R., Buchanan R.W. et al. Endogenous oxytocin levels are associated with facial emotion recognition accuracy but not gaze behavior in individuals with schizophrenia. *Acta Psychiatr. Scand.* 2022;145(5):494–506. DOI: 10.1111/acps.13421
114. Averbek B.B., Bobin T., Evans S., Shergill S.S. Emotion recognition and oxytocin in patients with schizophrenia. *Psychol. Med.* 2012;42(2):259–266. DOI: 10.1017/S0033291711001413
115. Andari E., Massa N.M., Fargotstein M.D. et al. Effects of oxytocin on emotion recognition in schizophrenia: a randomized double-blind pilot study. *J. Clin. Psychopharmacol.* 2021;41(2):103–113. DOI: 10.1097/JCP.0000000000001367
116. Wynn J.K., Green M.F., Helleman G. et al. A dose-finding study of oxytocin using neurophysiological measures of social processing. *Neuropsychopharmacology*. 2019;44(2):289–294. DOI: 10.1038/s41386-018-0165-y
117. Brambilla M., Cotelli M., Manenti R. et al. Oxytocin to modulate emotional processing in schizophrenia: a randomized, double-blind, cross-over clinical trial. *Eur. Neuropsychopharmacol.* 2016;26(10):1619–1628. DOI: 10.1016/j.euroneuro.2016.08.001
118. Wigton R., Tracy D.K., Verneuil T.M. et al. The importance of pro-social processing, and ameliorating dysfunction in schizophrenia. An fMRI study of oxytocin. *Schizophr. Res. Cogn.* 2021;27:100221. DOI: 10.1016/j.scog.2021.100221
119. Horta de Macedo L.R., Zuairi A.W., Machado-de-Sousa J.P. et al. Oxytocin does not improve performance of patients with schizophrenia and healthy volunteers in a facial emotion matching task. *Psychiatry Res.* 2014;220(1-2):125–128. DOI: 10.1016/j.psychres.2014.07.082
120. Schmidt A., Davies C., Paloyelis Y. et al. Acute oxytocin effects in inferring others' beliefs and social emotions in people at clinical high risk for psychosis. *Transl. Psychiatry*. 2020;10(1):203. DOI: 10.1038/s41398-020-00885-4
121. Bekkali S., Youssef G.J., Donaldson P.H. et al. Is the putative mirror neuron system associated with empathy? A systematic review and meta-analysis. *Neuropsychol. Rev.* 2021;31(1):14–57. DOI: 10.1007/s11065-020-09452-6
122. van der Burgh C.L., Numssen O., Schlaak B. et al. Differential contributions of inferior frontal gyrus subregions to sentence processing guided by intonation. *Hum Brain Mapp.* 2023;44(2):585–598. DOI: 10.1002/hbm.26086. PMID: 36189774.
123. Iarrobino I., Bongiardina A., Dal Monte O. et al. Right and left inferior frontal opercula are involved in discriminating angry and sad facial expressions. *Brain Stimul.* 2021;14(3):607–615. DOI: 10.1016/j.brs.2021.03.014
124. Bloch B., Levin R., Vadas L. et al. Sex-specific effect of intranasal vasopressin, but not oxytocin, on emotional recognition and perception in schizophrenia patients. *Isr. J. Psychiatry*. 2019;56(1):21–25.
125. Rubin L.H., Carter C.S., Bishop J.R. et al. Reduced levels of vasopressin and reduced behavioral modulation of oxytocin in psychotic disorders. *Schizophr. Bull.* 2014; 40(6):1374–1384. DOI: 10.1093/schbul/sbu027
126. Rubin L.H., Li S., Yao L. et al. Peripheral oxytocin and vasopressin modulates regional brain activity differently in men and women with schizophrenia. *Schizophr. Res.* 2018; 202:173–179. DOI: 10.1016/j.schres.2018.07.003
127. Carson D.S., Garner J.P., Hyde S.A. et al. Arginine vasopressin is a blood-based biomarker of social functioning in children with autism. *PLoS One*. 2015;10(7):e0132224. DOI: 10.1371/journal.pone.0132224
128. Shou X.J., Xu X.J., Zeng X.Z. et al. A volumetric and functional connectivity MRI study of brain arginine-vasopressin pathways in autistic children. *Neurosci. Bull.* 2017;33(2):130–142. DOI: 10.1007/s12264-017-0109-2

Информация об авторах

Горина Яна Валерьевна – канд. фарм. наук, доцент, с. н. с. лаб. социальных нейронаук, доцент каф. биологической химии с курсами медицинской, фармацевтической и токсикологической химии КрасГМУ им. проф. В.Ф. Войно-Ясенецкого, Красноярск, Россия; доцент каф. биофизики Сибирского федерального университета, Красноярск, Россия, <https://orcid.org/0000-0002-3341-1557>

Лопатина Ольга Леонидовна – д-р биол. наук, доцент, рук. лаб. социальных нейронаук, проф. каф. биологической химии с курсами медицинской, фармацевтической и токсикологической химии КрасГМУ им. проф. В.Ф. Войно-Ясенецкого, Красноярск, Россия; проф. каф. биофизики Сибирского федерального университета, Красноярск, Россия, <https://orcid.org/0000-0002-7884-2721>

Марарица Лариса Валерьевна – канд. психол. наук, с. н. с. лаб. социальной и когнитивной информатики Санкт-Петербургской школы социальных наук и востоковедения Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики», Москва, Россия, <https://orcid.org/0000-0003-3858-5369>

Вклад авторов: *Горина Я.В.* – концепция, написание текста, редактирование рукописи; *Лопатина О.Л.* – концепция, утверждение окончательного варианта статьи для публикации; *Марарица Л.В.* – оформление рисунков, редактирование рукописи.

Information about the authors

Yana V. Gorina – Cand. Sci. (Pharm.), Associate Professor, senior researcher, Laboratory of social neurosciences, Associate Professor, Department of biological chemistry with courses medical, pharmaceutical and toxicological chemistry, Prof. V.F. Voino-Yasenetsky Krasnoyarsk State Medical University, Krasnoyarsk, Russia; Associate Professor, Department of biophysics, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia, <https://orcid.org/0000-0002-3341-1557>

Olga L. Lopatina – Dr. Sci. (Biol.), Associate Professor, Head, Laboratory of social neurosciences, Professor, Department of biological chemistry with courses medical, pharmaceutical and toxicological chemistry, Prof. V.F. Voino-Yasenetsky Krasnoyarsk State Medical University, Krasnoyarsk, Russia; Professor, Department of biophysics, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia, <https://orcid.org/0000-0002-7884-2721>

Larisa V. Mararitsa – Cand. Sci. PhD (Psychol.), senior researcher, Laboratory of social and cognitive informatics, St. Petersburg School of social sciences and area studies, National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russia, <https://orcid.org/0000-0003-3858-5369>

Author contribution: *Gorina Ya.V.* – concept, text writing, manuscript editing; *Lopatina O.L.* – concept, approval of the final version of the article for publication; *Mararitsa L.V.* – design of drawings, manuscript editing.