

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
«ВЫСШАЯ ШКОЛА ЭКОНОМИКИ»

на правах рукописи

Ключарев Василий Андреевич

Нейрокогнитивные механизмы социального влияния

(на примере конформизма)

Резюме диссертации
на соискание ученой степени
доктора когнитивных наук

Москва, 2024 г.

Диссертация была подготовлена в Институте когнитивной нейронаук Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики».

Для защиты были отобраны семь опубликованных статей:

1. Klucharev V., Hytönen K., Rijpkema M., Smidts A., Fernández G. Reinforcement learning signal predicts social conformity. *Neuron*. 2009. 61(1). 140–151. doi.org/10.1016/j.neuron.2008.11.027 (Q1 in Neuroscience, Scopus).
2. Klucharev V., Munneke M.A., Smidts A., Fernandez G. Downregulation of the posterior medial frontal cortex prevents social conformity. *Journal of Neuroscience*. 2011. 31. 11934-11940. doi.org/10.1523/jneurosci.1869-11.2011 (Q1 in Neuroscience, Scopus).
3. Shestakova A., Rieskamp J., Tugin S., Ossadtchi A., Krutitskaya J., Klucharev V. Electrophysiological precursors of social conformity. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*. 2013. 8(7). 756–763. doi.org/10.1093/scan/nss064 (Q1 in Cognitive Neuroscience, Scopus).
4. Klucharev V., Zubarev I., Shestakova A. Neurobiological mechanisms of social influence. *Experimental Psychology (Russia)* 2014. 7(4). 20–36. psyjournals.ru/en/journals/exppsy/archive/2014_n4/72898.
5. Zinchenko O., Klucharev V. Commentary: The Emerging Neuroscience of Third-Party Punishment. *Frontiers in Human Neuroscience*. 2017. 11. 1-3 doi.org/10.3389/fnhum.2017.00512 (Q2 in Behavioral Neuroscience, Scopus).
6. Zubarev I., Klucharev V., Ossadtchi A., Moiseeva V., Shestakova A., MEG Signatures of a Perceived Match or Mismatch between Individual and Group Opinions. // *Frontiers in Neuroscience*. 2017. 10(11). 1-9. doi.org/10.3389/fnins.2017.00010 (Q2 in Neuroscience, Scopus).
7. Gorin A., Klucharev V., Ossadtchic A., Zubarev I., Moiseeva V., Shestakova A. MEG signatures of long-term effects of agreement and disagreement with the majority. *Scientific reports*. 2021. 11 (1). 1–10. doi.org/10.1038/s41598-021-82670-x (Q1 in Multidisciplinary studies, Scopus).

Результаты также опубликованы в следующих статьях по теме

диссертации:

8. Klucharev V., Smidts A., Fernández G. Brain mechanisms of persuasion: how 'expert power' modulates memory and attitudes. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*. 2008. 3(4). 353-66. doi.org/10.1093/scan/nsn022 (Q1 in Cognitive Neuroscience, Scopus).
9. Stallen M., Smidts A., Rijpkema M., Klucharev V., Fernández G. Celebrities and shoes on the female brain: The neural correlates of product evaluation in the context of fame. *Journal of Economic Psychology*. 2010. 31(5). 802-811. doi.org/10.1016/j.joep.2010.03.006 (Q1 in Applied Psychology, Scopus).
10. Huber R., Klucharev V., Rieskamp J. The neural underpinnings of Informational Cascades — An fMRI study of probability updating in a social context. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*. 2015. 10(4). 589-97. doi.org/10.1093/scan/nsu090 (Q1 in Cognitive Neuroscience, Scopus).
11. Zinchenko O., Belianin A., Klucharev V. The Role of the Temporoparietal and Prefrontal Cortices in a Third-Party Punishment: A tDCS Study. *Psychology Journal of Higher School of Economics*. 2019. 16(3). 529-550. doi.org/10.17323/1813-8918-2019-3-529-550.
12. Jaaskelainen I., Klucharev V., Panidi K., Shestakova A. Neural Processing of Narratives: From Individual Processing to Viral Propagation. *Frontiers in Human Neuroscience*. 2020. 14. article 253. doi.org/10.3389/fnhum.2020.00253 (Q2 in Behavioral Neuroscience, Scopus).
13. Zinchenko O., Savelo O., Klucharev V. Role of the prefrontal cortex in prosocial and self-maximization motivations: an rTMS study. *Scientific reports*. 11(1). 2021. 1-11. doi.org/10.1038/s41598-021-01588-6 (Q1 in Multidisciplinary, Scopus).
14. Zinchenko O., Nikulin V., Klucharev V. Wired to Punish? Electroencephalographic Study of the Resting-state Neuronal Oscillations Underlying Third-party Punishment. *Neuroscience*. 471. 1-10. 2021. doi.org/10.1016/j.neuroscience.2021.07.012 (Q2 in Neuroscience, Scopus).

15. Klucharev V., Shestakova A. Social influence and persuasion and message propagation. *Encyclopedia of Behavioral Neuroscience*, 2nd edition. 2022. 540-551. doi.org/10.1016/B978-0-12-819641-0.00106-7.
16. Ntoumanis I., Panidi K., Grebenshikova Y, Shestakova A., Kosonogov V., Jääskeläinen I., Kadieva D., Baran S., Klucharev V. «Expert persuasion» can decrease Willingness to Pay for sugar-containing food. *Frontiers in Nutrition*. 2022. 9. article 926875. doi.org/10.3389/fnut.2022.926875 (Q1 in Food Science, Scopus).

I. Введение

Проблема исследования

Исторически нейронауки в первую очередь фокусируются на нейрональных механизмах индивидуального поведения. Делая предметом исследования мозг отдельного организма, традиционные нейронауки существенно сужали спектр факторов, влияющих на поведение, зачастую игнорируя социальные контексты, в которых обитают организмы. Сравнительно недавно социальная психология в сотрудничестве с новым научным направлением — социальными нейронауками — предприняла попытку прояснить социальные факторы, формирующие наше индивидуальное поведение, решения и установки (Ajzen & Fishbein, 1980; Cacioppo & Decety, 2011; Cialdini & Goldstein, 2004). Некоторые современные теоретические взгляды на поведение человека предполагают, что *homo sapiens* демонстрируют «супер-организменные» свойства, и делают провокационное предположение о том, что мы совершили драматический эволюционный переход от «колоний приматов» к «суперорганизменной» единице особей, чем-то напоминающей колонию эусоциальных насекомых (Foster & Ratnieks, 2005; Kesebir, 2012; Wilson & Wilson, 2007). Несмотря на некоторую радикальность таких взглядов, *homo sapiens* действительно образуют очень сложные социальные группы, которые самоорганизуются с помощью комплексной системы коммуникации и сложных социальных взаимоотношений. Отдельный индивид вне группы практически не приспособлен к существованию. Кроме того, социальные группы критично важны не только для нашего выживания, но и для нормального развития в ходе чрезвычайно долгого (по биологическим меркам) взросления. Такая сложная «суперорганизменная» единица, состоящая из множества индивидов, требует когнитивных механизмов для их объединения, синхронизации их действий, повышения групповой согласованности, избегания конфликтов, уменьшения поведенческих различий внутри группы и для увеличения межгрупповой дифференциации (Kesebir, 2012). Чтобы достичь высокого уровня координации большого числа индивидов, эволюция посредством многоуровневого отбора,

видимо, способствует не только нашей склонности к сотрудничеству, но и, например, склонности следовать групповым нормам (Wilson & Wilson, 2008), что требует формирования в центральной нервной системе нейрокогнитивного механизма социального конформизма. Социальная психология задокументировала глубокое влияние групповых социальных норм на поведение человека (Cialdini & Goldstein, 2004), однако нейрокогнитивный механизм конформизма остается в значительной степени неизвестным. Настоящая диссертация обобщает полтора десятилетия исследований по изучению социального влияния на установки и поведение людей и предлагает теоретический нейрокогнитивный механизм социального конформизма.

Используя ставшие классическими в когнитивных науках три уровня анализа когнитивных процессов Дэвида Марра, данная работа формулирует следующие принципы нейрокогнитивного механизма конформизма: (1) конформизм—это эволюционно выгодная форма социального обучения, также необходимая для эффективных групповых процессов; (2) для обеспечения конформных изменений центральная нервная система обнаруживает отклонения от дескриптивных норм и генерирует обучающий сигнал аналогичный ошибке предсказания вознаграждения. (3) крупномасштабные мозговые сети интегрируют обучающий сигнал с личными и социальными контекстами и преобразует его в поведенческие конформные изменения. Важно отметить, что представленные исследования фокусируются п.2, то есть на изучении «обучающего сигнала» лежащего в основании конформности, а для обоснования п.1 и п.2 представленная работа в первую очередь опирается на литературные данные, интегрируя их с полученными экспериментальными данными.

Теоретико-методологические основания работы

Набор исследований, представленных в настоящей диссертации, использует теоретические положения социальной психологии, социальных нейронаук и теории обучения. Во-первых, наши исследования сосредоточены на концепции социальных норм — ключевом понятии в социальной психологии и в социальных

науках в целом (например, Ravis & Sheeran, 2003; Smith & Louis, 2009). Социальная психология различает две основные формы норм: *иньюктивные нормы* и *дескриптивные нормы*. Иньюктивные нормы относятся к очевидным «стандартам поведения», которые одобряются или не одобряются референтной социальной группой, в то время как дескриптивные нормы описывают фактическое поведение референтной социальной группы (Cialdini et al., 1990; Kallgren et al., 2000). Иньюктивные и дескриптивные нормы необязательно совпадают друг с другом. Например, иньюктивная норма может запрещать переход на красный свет, но в реальности дескриптивная норма может сигнализировать о широкой распространенности полного игнорирования данного правила: например, в этом конкретном городе жители свободно переходят дорогу на красный свет светофора, несмотря на существующие запреты. Важно отметить, что дескриптивные нормы являются особенно эффективными предикторами социального поведения, включая употребление здорового питания и алкоголя, энергосбережение и экологичную переработку отходов (Cialdini et al., 1990, для метаанализа см. Manning, 2009). Однако исследования социальной психологии поднимают важный теоретический вопрос: *с помощью какого когнитивного механизма мы обнаруживаем и усваиваем дескриптивные нормы?*

Во-вторых, в наших исследованиях были использованы теоретические положения социальной нейробиологии, предполагающие, что всё социальное поведение реализуется (нейро)биологически, то есть социальные механизмы «заземлены» в нейрофизиологических механизмах (Cacioppo & Decety, 2011). Социальная нейробиология использует теоретические предположения *конститутивного редукционизма* (constitutive reductionism), системного подхода к изучению частей системы и взаимодействия между частями/уровнями системы с целью лучшего понимания всей системы в целом (Cacioppo et al., 2000). Подходы социальной нейробиологии поднимают еще один важный теоретический вопрос: *как именно в центральной нервной системе реализуется нейробиологический механизм, лежащий в основе влияния дескриптивных норм на поведение человека?*

Наконец, мы использовали идеи *теории обучения с подкреплением*, моделирующей влияние опыта на функцию *полезности*, которая в науках о поведении означает меру способности удовлетворить определённую мотивацию (см., например, Rescorla & Wagner, 1972). Теория обучения с подкреплением предполагает, что организмы кодируют функцию полезности данного действия ($Q(s, a)$, где s — состояние среды, a — конкретное действие) как сумму будущих результатов действия, *ожидаемого вознаграждения* ($V(s)$) или сумму вознаграждений, ожидаемых в зависимости от состояния среды. Идея же обучения с подкреплением состоит в том, что для уменьшения ошибок функция ожидаемого вознаграждения постоянно обновляется в соответствии с полученными вознаграждениями. Теория выдвигает гипотезу об обучающем сигнале — *ошибке в прогнозировании вознаграждения* (ОПВ, англ. reward prediction error or RPE signal), который кодирует разницу между фактическим и ожидаемым вознаграждением (Sutton & Barto, 1998; для аналогичного подхода смотри Bechtereva et al., 2005). Именно ОПВ-сигнал позволяет системе менять полезность того или иного действия на основании предыдущего опыта. Причем *model free* алгоритмы обучения с подкреплением предполагают, что ОПВ-сигнал, основанный именно на результатах данного действия, является ключевым механизмом обновления значений полезности действия. В то время как *model-based* алгоритмы обучения с подкреплением предполагают, что значения могут быть также обновлены до получения окончательных результатов действия — на основе релевантной информации о мотивационном состоянии или о внешней среде. Теория обучения с подкреплением также допускает, что организмы могут моделировать возможные результаты несовершенных действий и учиться, например, на основе *фиктивной ошибки прогнозирования вознаграждения* (*fictive reward prediction error*) — сигнала обучения на основе «разочарования» от упущенного вознаграждения (Boorman et al., 2011; Lohrenz et al., 2007). В целом теория обучения с подкреплением обеспечивает основу для моделирования адаптивных процессов принятия решений и поднимает еще один важный теоретический вопрос: *может ли конформизм к дескриптивным нормам основываться на механизме, подобном обучению с*

подкреплением (и, по сути, не исключительно социальном алгоритме), который реализуется в дофаминергической системе мозга человека?

Научная новизна

1. В текущей работе была предложена новая исследовательская парадигма — *тест на конформизм*, которая позволяет вызвать контролируемые конфликты между индивидуальным суждением участника исследования и дескриптивным мнением группы в условиях психофизиологического исследования.
2. Наши данные функциональной магниторезонансной томографии (фМРТ) впервые показали, что активность задней медиальной лобной коры (ЗМЛ-коры, англ. posterior medial frontal cortex) и вентрального стриатума (вентрального отдела полосатого тела) отражает (а) социальное влияние дескриптивной нормы и (б) предсказывает последующую корректировку мнения в соответствии с дескриптивной нормой группы.
3. Наши результаты транскраниальной магнитной стимуляции (ТМС) впервые продемонстрировали причинно-следственную связь между активностью ЗМЛ-коры и конформной корректировкой мнения в соответствии с дескриптивной нормой группы.
4. Наше магнитоэнцефалографическое (МЭГ) исследование социального влияния показало, что расхождение с дескриптивными нормами модулирует активность задней поясной коры, предклинья, височно-теменного узла (англ. temporoparietal junction), вентромедиальной префронтальной коры (ВМПФК, англ. ventromedial prefrontal cortex), передней поясной коры (англ. anterior cingulate cortex) и верхней затылочной извилины.
5. Наше электроэнцефалографическое (ЭЭГ) исследование конформизма продемонстрировало временную динамику нейрокогнитивных коррелятов конформизма как каскада вызванных ответов мозга на несовпадение с групповыми нормами: от фронтальной негативности, отражающей конфликт

с мнением группы, до более позднего вызванного фронтально-теменного ответа, отражающего конформную корректировку поведения в соответствии с дескриптивной групповой нормой.

6. Наконец, впервые мы показали долгосрочные МЭГ-маркеры социального давления на обработку зрительной информации.

Теоретическая значимость

В ряде статей, отобранных для защиты диссертации, был рассмотрен теоретический нейрокогнитивный механизм социального влияния. Наши результаты показали, что мнение испытуемых корректируется в соответствии с дескриптивными нормами, основываясь на фундаментальном и, возможно, неуникально социальном механизме, подобном обучению с подкреплением. Мы выдвинули гипотезу, что конфликт с мнением социальной группы генерирует сигнал обучения, подобный ОПВ-сигналу в обучении с подкреплением. Разница между индивидуальным и групповым поведением (или суждениями) воспринимается как поведенческая ошибка, генерирующая ОПВ-подобный сигнал обучения. В соответствии с данной гипотезой вентральный стриатум и ЗМЛ-кора генерируют ОПВ-подобный обучающий сигнал в ответ на отклонения от дескриптивных норм. Данная активность, связанная с дофаминергической системой, запускает механизм обучения, взаимодействуя с другими, так называемыми крупномасштабными сетями мозга (large-scale brain networks), которые интегрируют ОПВ-подобный обучающий сигнал в более широкий социальный и личностный контекст. Важно отметить, что предложенный в работе теоретический подход предполагает (и не противоречит полученным экспериментальным данным), что ОПВ-подобный обучающий сигнал, оценивающий величину отклонения от дескриптивных норм, использует тот же нейрокогнитивный алгоритм, что и стандартный ОПВ-сигнал, лежащий в основе обучения с подкреплением.

Практическая значимость

Лучшее понимание влияния социальных норм и возникновения конформизма имеет ключевое значение для улучшения контроля многих форм неадаптивного поведения. Из дня в день дескриптивные нормы предоставляют людям информацию о допустимости или недопустимости курения (Schoffield et al., 2001), употребления алкоголя (Johnston & White, 2003), распространенности здорового питания (Louis et al., 2007), сохранения и загрязнения окружающей среды (Reno et al., 1993), популярности глубокой переработки мусора (White & Hyde, 2012) и энергосбережения (Goldstein et al., 2008; Schultz et al., 2007).

Отдельную практическую ценность может иметь применение полученный знаний в оптимизации поведения подростков. Зачастую именно сверстники инициируют употребление и злоупотребление подростками наркотиками и алкоголем. Например, чем больше популярность употребления алкоголя и марихуаны среди друзей, тем больше вероятность того, что подростки сами употребляют алкоголь или марихуану (Burkett, 1977).

В целом многие исследования указывают на то, что именно индивидуальная чувствительность к групповому давлению в сочетании с сильным давлением со стороны референтной группы приводит к неадаптивному поведению. Таким образом, представленные исследования нейрокогнитивных механизмов конформизма помогут разработчикам эффективных социальных интервенций, контролирующих или предотвращающих неадаптивное поведение у различных групп населения.

С другой стороны, чрезвычайная эффективность социальных норм в поощрении проэкологического поведения (Bodin, 2017; Byerly et al., 2018; Centola et al., 2018; Nyborg et al., 2016; Otto et al., 2020) позволяет предложить использовать наши экспериментальные и теоретические разработки для создания эффективных мер по использованию социальных норм, для поощрения поведения,

благоприятного для окружающей среды (например, Veretti et al., 2013), и других форм просоциального поведения.

Положения, выносимые на защиту

1. Активность ЗМЛ-коры и вентрального стриатума, измеренная с помощью фМРТ, отражает несоответствие индивидуального мнения и доминирующего мнения группы (дескриптивной нормы). Данная активность также отражает последующую конформную корректировку мнения в соответствии с дескриптивной нормой.
2. Исследования с помощью метода ТМС показали, что ЗМЛ-кора играет непосредственную роль в конформных корректировках мнения в соответствии с дескриптивными нормами.
3. Расхождение между индивидуальным мнением и дескриптивной нормой запускает последовательные электрофизиологические реакции головного мозга, начиная с (а) более ранней фронтальной вызванной активности, максимум которой достигается в районе 200 мс. после предъявления мнения группы, аналогичной негативности результата действия (feedback-related negativity) и отражающей конфликт с дескриптивными нормами, за которой следует (б) более поздняя вызванная фронто-центральная активность, достигающая пика в районе 380 мс. и отражающая конформную корректировку мнения.
4. МЭГ-активность головного мозга свидетельствует о том, что кластеры активности, отслеживающие совпадения и несовпадения индивидуального мнения с мнением группы (с дескриптивными нормами), частично различаются. Несовпадение индивидуальных и групповых мнений вызывает активность передней и задней медиальной коры, височно-теменных отделов коры, ВМПФК, в то время как совпадение с мнением группы вызывает увеличение амплитуды бета-ритмов в ВМПФК.
5. Соответствие дескриптивным нормам основано на нейрокогнитивном механизме обучения, который демонстрирует сходство с элементами

механизма обучения с подкреплением и реализуется в ЗМЛ-коре, вентральном стриатуме во взаимодействии с крупномасштабными сетями центральной нервной системы.

Эмпирическая база работы и вклад автора

Пять из семи статей, отобранных для защиты, посвящены нейрокогнитивным исследованиям конформизма с использованием фМРТ, ЭЭГ, ТМС и МЭГ. В целом отобранные статьи описывают шесть лабораторных исследований с участием более 120 участников. Лабораторные исследования проводились в Институте когнитивной нейронауки (НИУ ВШЭ, Москва, Россия), Институте мозга, познания и поведения им. Дондерса (Нидерланды), Эразмус исследовательском институте менеджмента (Эразм Университет Роттердама, Нидерланды) и на факультете психологии (университет Базеля, Швейцария), на биолого-почвенном факультете Санкт-Петербургского государственного университета.

Личный вклад автора в исследования (статьи) отобранные на защиту заключался в следующем:

- Концепция, дизайн и руководство исследованиями (Klucharev et al., 2009; Klucharev et al., 2011; Shestakova et al., 2013; Zubarev et al., 2017; Gorin et al., 2021; Klucharev et al., 2014; Zinchenko, Klucharev, 2017)
- Сбор данных (Klucharev et al., 2009; Klucharev et al., 2011; Shestakova et al., 2013)
- Анализ и интерпретация данных (Klucharev et al., 2009; Klucharev et al., 2011; Shestakova et al., 2013; Zubarev et al., 2017; Gorin et al., 2021)

– Написание и ревизия статей (Klucharev et al., 2009; Klucharev et al., 2011.; Shestakova et al., 2013; Zubarev et al., 2017; Gorin et al., 2021; Klucharev et al., 2014; Zinchenko, Klucharev, 2017)

Степень достоверности результатов, апробация работы и грантовая поддержка

Достоверность результатов подтверждается необходимым количеством наблюдений, современными методами нейровизуализации. Сформулированные в тексте диссертации научные положения и выводы основаны на фактических эмпирических данных, продемонстрированных в ряде рецензируемых публикаций. Статистический анализ и интерпретация полученных результатов проведены с использованием современных методов обработки нейроимиджинговых данных и статистического анализа. Все результаты подтверждены статистически значимыми тестами на уровне значимости 95%.

Результаты представленных исследований были публично представлены в более чем 20 докладах и стендовых сессиях на конференциях в России и за рубежом, включая Конгресс по мозгу, поведению и эмоциям (Бразилия, 2022), конференцию общества нейроэкономики (2005, 2007, 2008, 2009, 2012, 2015, 2017), международную волжскую конференцию по нейронаукам (Россия, 2018), Ежегодную конференцию по вычислениям, коммуникации и восприятию НИУ ВШЭ (Россия, 2015), коллоквиум Высшей нормальной школы департамента когнитивных исследований (Франция, 2013), 3-ю международную конференцию по нейроэкономике и нейроменеджменту (Китай, 2012), 1-ю конференцию Европейского общества когнитивных и аффективных нейронаук (Франция, 2012), коллоквиум лекций «Мозг и познание» центра нейронаук Женевского университета (Швейцария, 2012), коллоквиум по социальной психологии Базельского университета (Швейцария, 2011), 4-ю международную конференцию по когнитивной науке (Россия, 2010), 8-ю конференцию по эндо-нейро-психологии

(Нидерланды, 2009), 3-ю международную конференцию по когнитивной науке (Россия, 2008).

Исследования были поддержаны федеральным агентством по науке и инновациям (Россия) в 2010–2012 и 2012-2013 гг., Эразмус институтом управления (Нидерланды), Швейцарским национальным научным фондом (SNSF) в 2011–2013 гг., Российской государственной инициативой «5-100», Международной лабораторией социальной нейронауки Института когнитивной нейронауки НИУ ВШЭ, программой фундаментальных исследований НИУ ВШЭ, государственный грантом № 075-15-2019-1930 и выполнен с использованием уникального оборудования университета НИУ ВШЭ (рег. номер 354937).

II. Концепции социального соответствия и дескриптивные нормы

Конформизм — вид социального влияния, при котором индивиды меняют свои установки, убеждения и поведение в соответствии с референтной группой без эксплицитного запроса со стороны группы. Конформизм к референтной группе является важным механизмом интеграции социальной группы и значимо влияет на различные формы человеческого поведения, от антисоциального до про-социального и про-экологического (Cialdini & Goldstein, 2004; O’Keefe, 2002). Важно отметить, что, несмотря на сильную выраженность конформизма в повседневной жизни, люди обычно не осознают данной тенденции соответствовать групповым нормам (Bryan & Test, 1967). Однако уже двухлетние дети (Haun et al., 2012, 2014) и дошкольники (Sun & Yu, 2016) демонстрируют тенденцию соответствовать большинству. Конформизм наблюдался у различных видов: у плодовых мух (Danchin et al., 2018), рыб (Day et al., 2001; Pike & Laland, 2010), крыс (Galef & Whiskin, 2008; Konopasky & Telegdy, 1977), обезьян (Dindo et al., 2009) и приматов (Whiten et al., 2005). Кроме того, исследование общегеномных ассоциаций показало роль специфических генов в социальном конформизме (Chen et al., 2018). В целом существующие поведенческие и генетические данные указывают на эволюционную основу конформизма, предполагая, что естественный

отбор благоприятствует поведенческой тенденции соответствовать групповым нормам.

Действительно, конформизм, как адаптация убеждений или поведения к групповой норме, является адаптивной стратегией в постоянной среде обитания, поскольку позволяет интегрировать результаты опыта группы людей в поведенческие стратегии индивида (Boyd et al., 2005). Таким образом, естественный отбор может благоприятствовать нейрокогнитивному механизму конформного социального обучения, который автоматически корректирует наши установки и поведение в соответствии с групповыми нормами.

Социальная психология продемонстрировала, что конформизм может вызваться иньюктивными или дескриптивными нормами (Cialdini & Goldstein, 2004). Иньюктивные нормы сигнализируют о том, что именно люди должны делать, и имеют характер предписания, в то время как дескриптивные нормы сигнализируют мнение или поведение большинства людей в группе, независимо от иньюктивных норм. Неудивительно, что люди демонстрируют тенденцию подчиняться иньюктивным нормам, которые зачастую подкрепляются различными формами социальных наказаний и поощрений. Сильное же влияние дескриптивных норм на поведение человека менее объяснимо, поскольку они имеют скорее информационный характер, обычно сигнализируя о наиболее популярной поведенческой стратегии.

В своем новаторском исследовании Соломон Эш (Asch, 1951, 1955) предоставил участникам возможность лично столкнуться с ошибочным мнением большинства. Исследования, ставшие классическими, показали, что люди часто соглашались с очевидно ошибочным мнением большинства. Более того, большая часть испытуемых хотя бы единожды дала заведомо неправильный ответ, чтобы не отличаться от большинства — от дескриптивной нормы. В модифицированной версии парадигмы Аша (Crutchfield, 1955) — в парадигме Кратчфилда — участникам демонстрировались ошибочные мнения других членов группы не

напрямую, так как участники сидели в отдельных помещениях. Метаанализ 133 исследований показал, что конформизм зачастую даже выше в парадигме Кратчфилда, чем в оригинальной парадигме Аша (Bond & Smith, 1996). Таким образом, конформизм возникает даже тогда, когда участники лично не сталкиваются с социальным давлением группами, что имеет решающее значение для лабораторных условий в стандартных нейровизуализационных исследованиях. Однако в середине двухтысячных годов, когда мы начали нейрофизиологические исследования конформизма и социального влияния, нейровизуализационные исследования в данной области практически отсутствовали.

В новаторском исследовании Грегори Бернса изучались фМРТ-корреляты соответствия индивидуального мнения и мнения группы во время выполнения задания на мысленное вращение фигур (Berns et al., 2005). В данном исследовании конформизм был связан авторами с активностью стриатума и затылочной/теменной коры. Различные нейрофизиологические исследования показали, что вентральный стриатум кодирует ценности вознаграждения и участвует в обучении (Carelli, 2002; Knutson & Wimmer, 2007). Таким образом, уже первое исследование конформизма показало, что нейрокогнитивный механизм влияния групповых норм должен включить систему мозга, отвечающую за мониторинг эффективности текущей деятельности. Тем не менее детальный нейрокогнитивный механизм, лежащий в основе конформизма, остался не прояснённым.

Традиционные психологические исследования конформизма долгое время подчёркивали роль вознаграждающей ценности социальной принадлежности и сходства с большинством (Cialdini & Goldstein, 2004), в то время как поведенческая экономика подчёркивала роль наказания в поддержке социальных норм (Fehr & Fischbacher, 2004). Интересно, что обе парадигмы подразумевают, что конформизм поддерживается неким механизмом обучения (связанным с вознаграждением или наказанием), подкрепляющим нормативное поведение (Klucharev et al., 2009;

Montague & Lohrenz, 2007). Поэтому в представленной в данной диссертации линии исследований мы рассмотрели следующие ключевые исследовательские вопросы:

1. Аналогична ли нейрокогнитивная система, поддерживающая конформизм, функционально и структурно (на уровне областей мозга) нейрокогнитивному механизму несоциального обучения с подкреплением?
2. Приводит ли социальное давление группы к долгосрочным изменениям в работе мозга или же лишь к внешнему согласию с группой?

III. Психофизиологические корреляты конформизма

Пространственное картирование нейрокогнитивных механизмов конформизма

Статьи, отобранные для защиты Klucharev et al., 2009, Klucharev et al., 2011.

фМРТ-исследование. Прогресс в нейроимиджинговых исследованиях социального конформизма критически зависит от эффективных поведенческих парадигм. Поэтому мы разработали задачу, существенно модифицировав классическую задачу Аша, в которой первоначальное мнение участника совпадало или не совпадало с мнением референтной группы (Klucharev et al., 2009). Во время первой сессии данного теста на конформизм (сессия 1), сопровождаемой регистрацией активности мозга, участница оценивает привлекательность женских лиц (рисунок 1). В конце каждой пробы участнице исследования сообщается «групповой рейтинг» привлекательности данного лица или мнение большинства студентов данного университета (дескриптивная норма). Важно отметить, что фактически групповой рейтинг систематически манипулируется программно так, чтобы в части проб группа оценивала лицо как более привлекательное (или менее привлекательное), чем участница исследования, а в другой части проб группа давала ту же оценку, что и участница. С помощью такой процедуры мы получили возможность управлять конфликтами между индивидуальным мнением и мнением

группы. Чтобы оценить уровень конформизма, мы попросили участниц исследования снова оценить привлекательность того же набора лиц во время повторной поведенческой сессии (сессия 2). Поведенческие результаты показали, что участники систематически меняют свои оценки привлекательности в соответствии с оценкой группы, тем самым демонстрируя конформизм к дескриптивной норме. После статистического контроля регрессии к среднему значению (Schnuerch, Schnuerch, et al., 2015) данная задача прилагает эффективный инструмент для исследования конформизма с использованием различных методов нейровизуализации. Важно отметить, что в данной задаче участников не инструктируют следовать групповой норме, они это делают без эксплицитного внешнего давления.

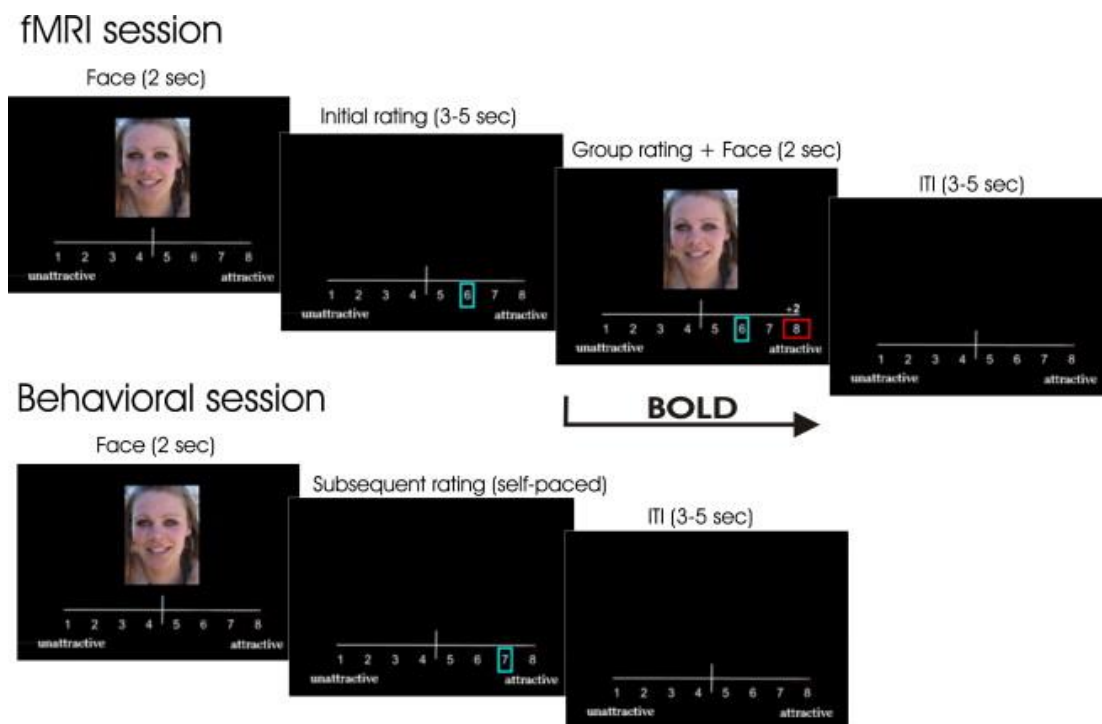


Рис. 1. Тест на конформизм. Во время регистрации активности мозга (сессия 1) участники оценивают привлекательность лиц. В конце испытания им выставляются оценки референтной группы, которые могут быть схожими (пробы «соответствие группе») или отличаться от оценок участников (пробы «несоответствие группе»). Во время повторной поведенческой сессии (сессия 2) участники снова оценивали те же лица, чтобы определить уровень конформности к мнению группы (Эксперимент № 1, детали см. в Klucharev et al., 2009)

В первом исследовании, отобранном для защиты (Klucharev et al., 2009), мы выдвинули гипотезу о том, что нейрокогнитивный механизм конформизма может иметь некоторые общие черты с фундаментальными механизмами мониторинга результатов поведения. Следовательно, воспринимаемое отклонение индивидуального мнения от мнения группы должно вызывать активность мозга, которая схожа с ОПВ-сигналом или «ошибкой предсказания вознаграждения» в ходе обучения с подкреплением, сигнализируя о том, что участники должны корректировать свои суждения в соответствии с групповыми нормами.

Различные математические и когнитивные модели обучения включают так называемый ОПВ-сигнал, который информирует о том, является ли результат действия лучше или хуже ожидаемого (Rescorla & Wagner, 1972). В целом ОПВ кодирует обучающий сигнал, указывающий на необходимость в корректировке поведения. Исследования с помощью различных методов нейровизуализации показали, что ЗМЛ-кора (задняя медиальная лобная кора) кодирует ОПВ-сигнал (Holroyd & Coles, 2002). Различные исследования показали, что ЗМЛ-кора — не единственный центр мозга, участвующий в мониторинге результатов поведения (Oldham et al., 2018). В частности, вентральный стриатум играет важную роль в прогнозировании вознаграждения и в оценке успешности данного поведенческого акта. Следовательно, гипотетический механизм, подобный обучению с подкреплением, лежащий в основе конформизма, предполагает наличие сигнала обучения, генерируемого в ЗМЛ-коре и вентральном стриатуме, который должен отражать отклонение от мнений группы и запускать конформные изменения мнения.

Чтобы проверить нашу гипотезу, мы использовали вышеупомянутый тест на конформизм, в котором на первоначальное мнение участниц могло повлиять мнение группы. В общей сложности 46 участниц приняли участие в нейровизуализационном исследовании, а именно в основной социальной версии

теста (исследование №1) и в его контрольной несоциальной версии (исследование №) (детали см. в Klucharev et al., 2009).

Данное фМРТ-исследование проводилось с использованием сканера Sonata 1.5T (Siemens) и T2* -последовательности с получением 33 срезов мозга (TR = 2,28 с.; TE = 35 мс.; угол поворота 90°; матрица среза 64 × 64; толщина среза 3,5 мм.; зазор среза 0,5 мм.;). Для структурной МРТ высокого разрешения была использована T1 последовательность (176 сагиттальных срезов; TR = 2,25 с.; TE = 3,93 мс.; угол поворота 15 °; матрица среза 256 × 256; толщина среза 1,0 мм.; без зазора). Детали статистического анализа приведены в статье Klucharev et al., 2009 (стр.149).

Для того, чтобы локализовать фМРТ-корреляты социального влияния, мы, во-первых, сравнили реакции мозга в пробах «несоответствие группе» с реакциями мозга в пробах «соответствия группе» (контраст *соответствие группе*). Во-вторых, чтобы локализовать фМРТ-корреляты конформизма, мы сравнили реакции мозга в пробах «несоответствия группе», за которыми следовало конформное изменение мнения, и реакции мозга в пробах «несоответствия группе», за которыми не следовал конформизм (контраст *конформизм*). Наконец, для выявления сходства нейронных коррелятов несоответствия мнению группы (группового давления) и конформности мы использовали анализ объединений (*conjunction analysis*, см. рисунок 2).



Рис. 2. Результаты с использованием статистического метода анализа объединений (conjunction analysis) демонстрируют, что активность в ЗМЛ-коре и вентральном стриатуме отражает как (а) отклонения от мнения группы (в контрасте *соответствие группе*), (б) так и последующие конформные изменения мнения (в контрасте *конформизм*) по направлению к мнению группы (Эксперимент №1, Klucharev et al., 2009)

Несоответствие мнению группы модулировало активность ЗМЛ-коры, островковой коры, средней лобной извилины и стриатума. Наши результаты продемонстрировали, что локализация фМРТ-коррелят конформизма чрезвычайно схожа с локализацией ОПВ-сигналов при обучении с подкреплением, с известной по литературным данным. Кроме того, активность в вентральном стриатуме статистически значимо коррелировала с индивидуальными различиями в уровне конформности (оцененных по уровню конформности в данной экспериментальной задаче) и существенно различалась между конформистами и нонконформистами (рисунок 3).

Предыдущие исследования прочно связали обучение с подкреплением с дофаминергической системой среднего мозга (Schultz, 2006). Поэтому мы дополнительно проанализировали активность черной субстанции и вентральной области покрышки (ventral tegmental area, VTA), воспользовавшись анализом фМРТ-сигнала непосредственно в данных «областях интереса». Мы показали, что активность в этих ключевых дофаминергических регионах модулировалась в зависимости от совпадения или несовпадения мнения испытуемого с мнением

группы (Klucharev et al., 2009). В целом наши результаты показывают, что активность в среднем мозге, ЗМЛ-коре и вентральном стриатуме (в вентральном отделе полосатого тела), островковой коре отслеживает отклонения от дескриптивной нормы и отражает степень такого отклонения (или совпадения) с мнением референтной группы.

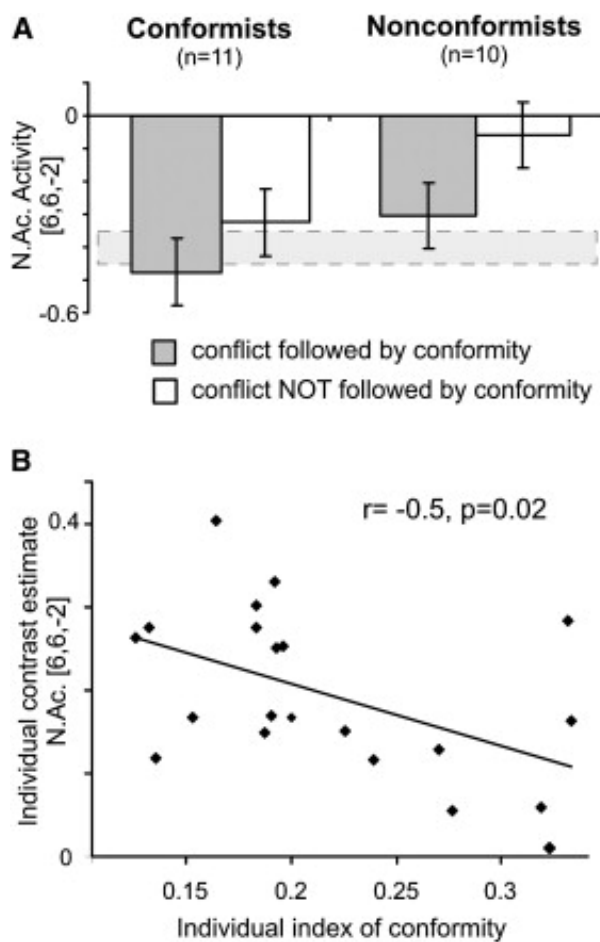


Рис. 3. Активность вентрального стриатума отражала индивидуальные различия в конформных корректировках мнения (Klucharev et al., 2009):

(А) Конформисты (участники, легко меняющие мнение в соответствии с группой в данной экспериментальной задаче) показали более сильную деактивацию вентрального стриатума при несовпадении с мнением группы. Серая прямоугольная область очерчивает гипотетический порог конформизма.

(В) Значимая корреляция между активностью вентрального стриатума в контрасте *конформизм* и индивидуальным уровнем конформизма. Конформисты показали более дифференциальную реакцию мозга на несовпадения с групповыми оценками, за которыми следовало конформное изменение мнения, и теми несовпадениями с групповыми оценками, за которыми не последовало такого изменения

Интересно, что отклонения от дескриптивных норм активировали ЗМЛ-кору, но деактивировали вентральный стриатум, что может указывать на различные нейрокогнитивные алгоритмы, лежащие в основе конформизма: конформного изменения мнения в результате удовольствия от аффилиации с группой или же в результате избегания неудовольствия от видимого отличия от нормы. В целом первое представленное в данной диссертационной работе исследование показало, что конформизм может быть обусловлен относительно автоматическим нейрокогнитивным механизмом, в котором активность в среднем мозге, ЗМЛ-коре и вентральном стриатуме, как части дофаминергической системы, корректирует индивидуальные суждения в соответствии с мнением группы.

Важно отметить, что для проверки полученных результатов мы разработали и провели несоциальную версию теста (Эксперимент № 2, 22 испытуемых женского пола в возрасте 19–29 лет; одна участница была исключена из дальнейшего анализа данных из-за чрезмерного движения головы в ходе сканирования). В новой версии задачи мы заменили оценки социальной группы *оценками компьютера*, который согласно инструкции пользовался определенными математическими алгоритмами для оценки привлекательности лиц (см. Spitzer et al., 2007 и Zink et al., 2008, для аналогичного подхода). В остальном дизайн теста и экспериментальные процедуры были идентичны первоначальной версии теста. Мы сравнили фМРТ результаты социальной и несоциальной версий данного теста. Статистический анализ показал значимое взаимодействие факторов *соответствие группе* (внутригрупповой фактор: несоответствие или совпадение с мнением группы) × *социальное условие* (межгрупповой фактор: социальная или компьютерная версия теста) в активности ЗМЛ-кору, стриатума и в среднем мозге (рисунок 4).

В целом фМРТ-корреляты несоответствия мнению группы в ЗМЛ-коре, вентральном стриатуме и среднем мозге (контраст *соответствие группе*) были значительно сильнее выражены в социальной версии, чем в компьютерной версии теста. Анализ активности всего мозга в целом показал, что несоответствие с

оценками компьютера в контрольном исследовании активировало правую островковую, предклинье и прецентральную извилину, аналогично социальной версии исследования. Кроме того, в контрольном исследовании расхождение с мнением группы вызвало некоторую активность в ЗМЛ-коре и вентральном стриатуме, которую можно было наблюдать только при использовании более слабого статистического порога. В целом отклонения от мнения группы вызывали значительно более слабые реакции в областях мозга, анализирующих результаты действий в контрольном исследовании, по сравнению с основным исследованием. Таким образом, результаты двух исследований показали, что наблюдаемые фМРТ-корреляты группового давления модулируются социальными факторами.

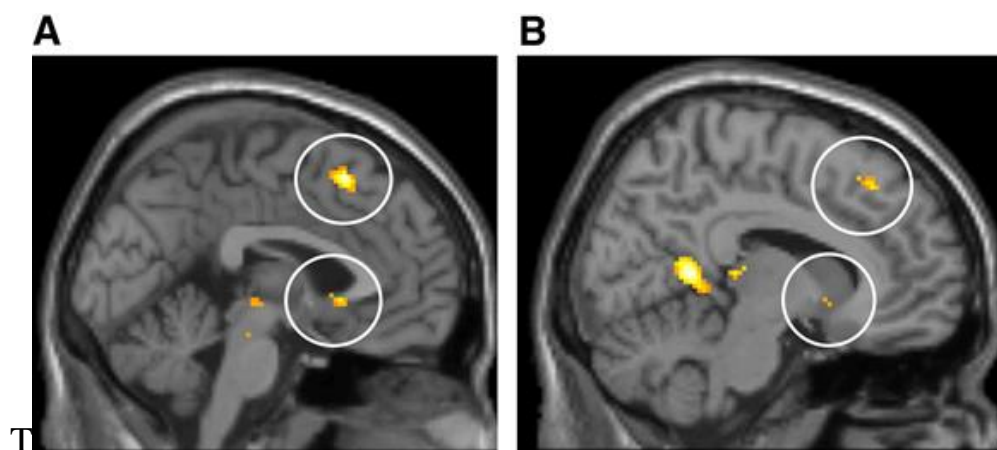


Рис. 4. Сравнение фМРТ-коррелятов конформизма в социальной (исследование №1) и несобальной (исследование № 2) версиях теста на конформизм (Klucharev et al., 2009): (А) Активность, отражающая влияние социального контекста на фМРТ-корреляты группового давления, — значимое взаимодействие факторов *соответствие группе* × *социальное условие*. (В) Активность, отражающая влияние социального контекста на фМРТ-корреляты конформизма, — значимое взаимодействие факторов *конформизм* × *социальное условие*. Окружности указывают на ЗМЛ-кору и вентральный стриатум

Мы также проанализировали фМРТ-корреляты конформизма (контраст *конформизм*) в контрольной, несобальной версии исследования: активность мозга, за которой следовало изменение мнения в соответствии со «случайной» оценкой компьютерным, по сравнению с активностью мозга, после которой изменения мнения не наблюдалось. Анализ данных показал, что активация ЗМЛ-

коры и вентрального стриатума предсказывает корректировки в мнения только при сниженном статистическом пороге. Наши результаты показали, что фМРТ-корреляты конформной корректировки мнения были относительно схожими в обоих экспериментах, но они модулировались социальным контекстом.

Социальные и несоциальные версии теста на конформизм также показали значимые поведенческие различия. Участники чаще меняли свое мнение после несоответствия их индивидуального мнения социальной группе, чем после несоответствия их мнения оценке компьютера ($p = 0,004$). Мы также провели корреляционный анализ связи величины расхождения с оценкой компьютером и последующего конформизма. Такая корреляция была значительно ниже в контрольном компьютерной версии теста на конформизм, чем в его социальной версии ($p = 0,001$). Более того, в контрольном исследовании у двенадцати из двадцати одной участницы не было обнаружено существенной корреляции между величиной расхождения с оценкой компьютера и конформными корректировками оценок. В целом социальные дескриптивные нормы сильнее модулировали как мнение участников, так и фМРТ-корреляты таких конформных изменений по сравнению с контрольными несоциальными стимулами.

Результаты нашего фМРТ-исследования продемонстрировали, что нейрокогнитивный механизм, лежащий в основе социального конформизма, действительно имеет общие черты с фундаментальным механизмом мониторинга результатов деятельности, таким как обучение с подкреплением. Данные фМРТ показали, что несоответствия дескриптивным нормам модулируют активность ЗМЛ-коры, вентрального стриатума, островковой коры и других областей, которые согласно литературным данным вовлечены в обработку поведенческих ошибок (Diedrichsen et al., 2005; Ridderinkhof et al., 2003; Schultz, 2006). Эти результаты продемонстрировали, что наблюдаемое индивидом расхождение его/ее мнения с мнением группы вызывает реакцию мозга, которая как функционально, так и анатомически сходна с ОПВ-сигналом при обучении с подкреплением.

В целом несоответствие с групповым мнением может вызвать реакцию, подобную ОПВ, в ЗМЛ-коре, вентральном стриатуме и среднем мозге, и если такой нейрональный сигнал, связанный с социальной «ошибкой» несоответствия большинству, пересекает гипотетический порог обучения, тогда инициируется конформная корректировка мнения. Корреляция активности стриатума с индивидуальным уровнем конформизма также указывает на связь фМРТ-коррелят конформизма и группового давления с фактическими конформными корректировками мнения.

ТМС-исследование. Во втором исследовании, отобранном для защиты (Klucharev et al., 2011), мы использовали повторяющуюся ТМС-стимуляцию, для того, чтобы проверить причинно-следственную связь между активностью ЗМЛ-коры и конформизма к дескриптивным нормам. Мишень стимуляции в ЗМЛ-коре была выбрана на основе нашего предыдущего фМРТ исследования (Klucharev et al., 2009), при этом мы использовали затылочную область в качестве контрольной мишени стимуляции. Участники приглашались в одну из трех экспериментальных групп: (1) ТМС ЗМЛ-коры (*группа ЗМЛ-стимуляция*, 17 испытуемых), (2) ТМС медиальной теменной коры (*группа контрольная-стимуляция*, 15 испытуемых) и (3) плацебо ТМС ЗМЛ-коры (*группа плацебо-стимуляция*, 17 испытуемых).

Впервые в рамках социальной нейробиологии мы использовали непрерывную тета-импульсную ТМС-стимуляцию: 40-секундную последовательность трех 50 Гц ТМС-импульсов/секунду (всего 600 импульсов). Важно отметить, что такой относительно быстрый ТМС протокол снижает нейронную активность почти на 60 минут (Huang et al., 2005). Мы использовали 110-миллиметровую двухконусную катушку (компания Magstim), которая была подключена к магнитному стимулятору Magstim Rapid. Такая конфигурация катушки состоит из двух угловых обмоток для улучшения прилегания к голове и повышения эффективности стимуляции, в особенности относительно глубоких областей коры головного мозга, а в данном исследовании — ЗМЛ-коры. Активные

моторные пороги были установлены во время стимуляции области репрезентации мышц ноги в первичной моторной коре, как минимальная интенсивность ТМС-импульса, которая вызывала лиминальный электромиографический ответ в 50% проб во время изометрического сокращения передней большеберцовой мышцы. В ходе ТМС исследования была использована 80-процентная интенсивность данного активного двигательного порога (средние значения: 25% от максимальной мощности стимулятора, стандартное отклонение = 1,79, минимальное значение: 21%, максимальное значение: 27%) для тета-импульсной ТМС, в то время как катушка была поднесена радиально к голове участника исследования. Испытуемые получали 40 секунд тета-импульсной ТМС либо при приложении катушки над ЗМЛ-корой, либо над теменной корой (контрольная стимуляция), либо при плацебо-стимуляции (плацебо-контрольная группа с низким подпороговым уровнем ТМС — 10% от максимальной мощности). Испытуемые выполняли тест на конформизм ~через 3—5 минут после тета-импульсной ТМС в той же самой лабораторной комнате. Важно отметить, что участники получили инструкции по выполнению теста на конформизм до начала тета-импульсной ТМС. Таким образом, они смогли приступить к выполнению задачи сразу после окончания цикла стимуляции, чтобы избежать ослабления последствий ТМС-стимуляции. Детали статистического анализа приведены в статье Klucharev et al., 2011 (стр.11936).

Временное разрегулирование активности ЗМЛ-коры с помощью тета-импульсной ТМС значительно уменьшало степень и вероятность конформных корректировок мнения по сравнению с плацебо и контрольной стимуляцией (рисунок 5). Таким образом, наше исследование предоставило первые доказательства причинно-следственной связи активности ЗМЛ-коры и конформизма. Важно отметить, что ЗМЛ-кора анатомически связана с вентральным стриатумом (Groenewegen et al., 1982; Hauber & Sommer, 2009; Parkinson et al., 2000), поэтому ТМС-стимуляция ЗМЛ-коры может нарушать нейробиологический

механизм контроля результатов действия в целом и в результате подавлять конформные адаптации к дескриптивным нормам.

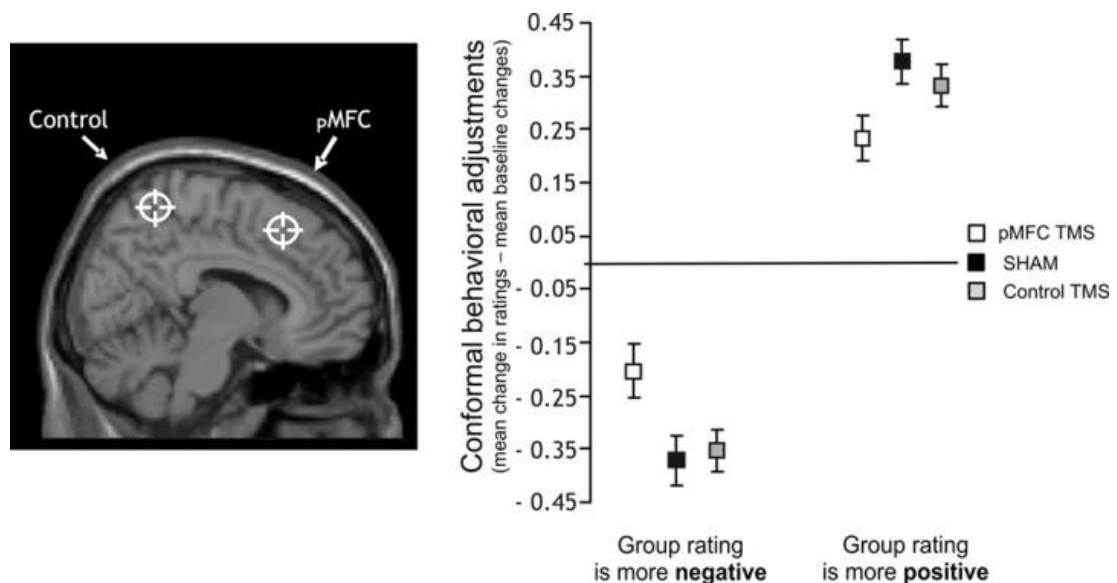


Рис. 5. Влияние тета-импульсной ТМС на среднюю конформную корректировку мнения. На левой панели указаны мишени тета-импульсной ТМС (Klucharev et al., 2011)

Тета-импульсная ТМС также повлияла на вероятность конформных изменений мнения. В среднем во время выполнения теста на конформизм изменения мнения в соответствии с мнением группы происходили с вероятностью 0,41. Но вероятность конформизма значительно снизилась с 0,43 (плацебо стимуляция ЗМЛ-коры) и 0,42 (контрольная стимуляция медиальной теменной коры) до 0,38 после ТМС стимуляции ЗМЛ-коры: $F(2,46) = 3,55$, $p = 0,037$. Рисунок 6 демонстрирует, что разбалансировка активности ЗМЛ-коры снижает вероятность конформных корректировок относительно контрольных условий. Post hoc сравнения с использованием теста Tukey HSD подтвердили, что вероятность конформных изменений уменьшилась после стимуляции ЗМЛ-коры по сравнению с контрольной стимуляцией медиальной теменной коры ($p = 0,033$) и плацебо-стимуляцией ЗМЛ-коры ($p = 0,025$).

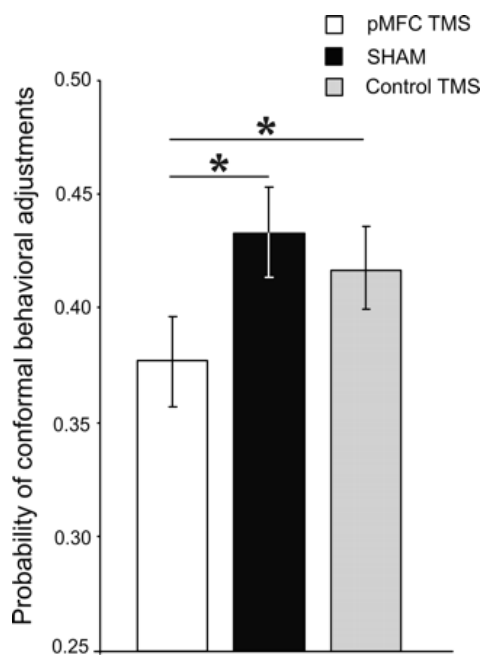


Рис. 6. Среднее значение вероятности конформных корректировок мнения после тета-импульсной ТМС-стимуляции в трех экспериментальных условиях (Klucharev et al., 2011)

Диапазон значений указывает стандартная ошибка.

* – значимые различия на уровне $p < 0.05$.

Важно отметить, что ряд более поздних нейровизуализационных исследований подтвердил участие ЗМЛ-коры в различных формах конформизма (например, Berns et al., 2010b; Campbell-Meiklejohn et al., 2010; E. V. Falk et al., 2010; Ulf Toelch et al., 2018).

IV. Временная и пространственная динамика психофизиологических коррелят группового давления и конформизма

Статьи, отобранные для защиты: Shestakova et al., 2013, Zubarev et al., 2017.

ЭЭГ-корреляты группового давления и конформизма. В третьем исследовании, отобранном для защиты, мы изучили электрофизиологическую активность мозга для прояснения временной и пространственной динамики психофизиологических коррелят конформизма (Shestakova et al., 2013). Электро- и магнитоэнцефалография (ЭЭГ/МЭГ) являются, пожалуй, наиболее эффективными

инструментами для изучения временных изменений в нейрофизиологических коррелятах когнитивных процессов. Например, нейрофизиологический аналог ОПВ-сигнала обучения может быть измерен с использованием метода вызванных потенциалов (ВП). Важно отметить, что литературные данные прочно связывают мониторинг результатов действия с компонентом вызванных ответов, генерируемых в ЗМЛ-коре, который часто обозначается, как *негативность, связанная с ошибкой* (НСО) или *негативность обратной связи* (анг. feedback-related negativity, FRN) (см. Cohen & Ranganath, 2007; Miltner et al., 1997), или *позитивность вознаграждения* (анг. reward-related positivity, RewP) (Mulligan & Hajcak, 2018; Sambrook & Goslin, 2015). Наше ЭЭГ-исследование было сосредоточено именно на компоненте НСО, который представляет собой отрицательное отклонение ВП во временном окне 200–400 мс. после того, как испытуемый получает отрицательную обратную связь (Miltner et al., 1997).

Здоровые испытуемые ($n = 16$, в возрасте 17–26 лет) участвовали в тесте на конформизм в ходе двух экспериментальных сессий: ЭЭГ-сессии (сессия 1) и поведенческой сессии (сессия 2), разделенных ~15 минутами. Согласно выдвинутой в данной работе гипотезе, если гипотетический механизм конформизма действительно сходен с обучением с подкреплением, то наблюдаемое несоответствие своего мнения с мнением группы должно вызывать отклонение ВП, подобное компоненту НСО, который генерируется в ЗМЛ-коре и отражает мониторинг текущей деятельности и последующей корректировки поведения или мнения.

ЭЭГ-данные регистрировались с использованием 19 электродов Nikolet gold-cup (Fp1, Fpz, Fp2, F7, F3, Fz, F4, F8, T3, C3, Cz, C4, T4, P3, Pz, P4, O1, Oz и O2), в соответствии с международной системой 10-20, и двух окулографических электродов (один над правым глазом, а другой у внешнего угла глаза) для контроля движения глаз и соответствующих артефактов. ЭЭГ-данные подверглись фильтрации (0,1–70 Гц) в режиме онлайн, а затем были отфильтрованы оффлайн с

частотой 0,5–20 Гц. Во время записи ЭЭГ (частота дискретизации = 250 Гц, энцефалограф Mitsar, ЭЭГ-201), отведения реферировались к среднему значению всех отведений на скальпе. Во время офлайн предобработки данных был произведен пересчет ЭЭГ относительно нового референта — среднего значения сигнала в отведениях от двух сосцевидных отростков. Импедансы электродов поддерживались на уровне ниже 10 кОм. Детали статистического анализа приведены в статье Shestakova et al., 2013 (стр.758).

Для идентификации ЭЭГ-коррелят группового давления мы сравнили ВП во всех пробах «несоответствие группе» с ВП во всех пробах «соответствие группе». Чтобы прояснить ЭЭГ-корреляты конформизма, вызванного групповым давлением, мы сравнили пробы «несоответствие группе», за которыми последовало конформное изменение мнения, с пробами «несоответствие группе», за которыми не последовало таких изменений. несоответствие между индивидуальным мнением и нормативным мнением группы вызывало фронто-центральное негативное отклонение ВП с максимумом около 200 мс., аналогичное компоненту НСО, а позднее 300 мс. наблюдалось позитивное отклонение, отражавшее изменение мнения (рисунок 7).

В целом анализ показал, что несоответствие групповому (нормативному) мнению вызвало каскад вызванных реакций мозга: от более раннего НСО-подобного ответа, отражающего несоответствие дескриптивной норме, к более позднему компоненту ВП, достигающему максимума около 380 мс., отражающему конформную корректировку мнения в направлении мнения большинства. Таким образом, наши ЭЭГ-данные позволили разделить во времени ЭЭГ-корреляты группового давления и ЭЭГ-корреляты конформных корректировок мнения.

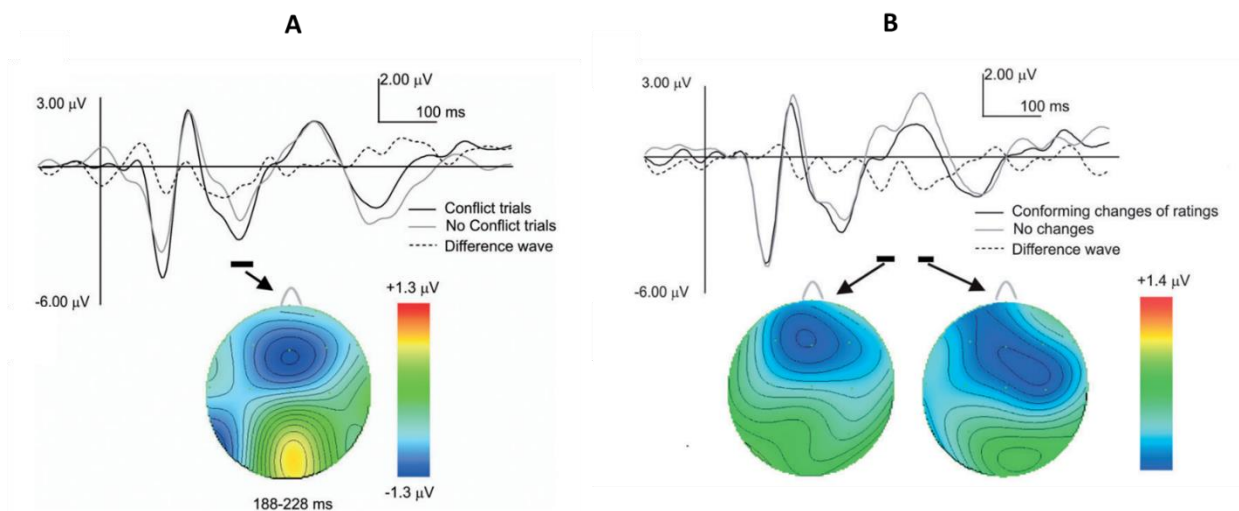


Рис. 7. ЭЭГ-корреляты группового давления и конформизма:

(А) Вызванные ответы мозга, усредненные в зависимости от того, соответствовали ли личные оценки участников мнению группы (серая линия, пробы «соответствие группе») или не соответствовали мнению группы (черная линия, пробы «несоответствие группе»). Пунктирная линия обозначает разностную волну. Топографическая карта демонстрирует пространственное распределение разностных волн на поверхности головы.

(В) Вызванные ответы мозга в пробах «несоответствие группе», усредненные в зависимости от того, изменили ли участники свое мнение в соответствии с мнением группы (черная линия) или не изменили его (серая линия) (Shestakova et al., 2013)

Ряд ВП-исследований подтвердил, что несоответствие между индивидуальным мнением и мнением группы генерирует НСО-подобный вызванный потенциал (Chen et al., 2012; Kim et al., 2012). Важно отметить, что компонент НСО связан с активностью ЗМЛ-коры и с мониторингом результативности поведения, а также с его последующей корректировкой (см., например, Cohen & Ranganath, 2007). Исследования с использованием нейровизуализации показали, что активность ЗМЛ-коры модулируется ОПВ-сигналом, отражающим работу дофаминергической системы и сигнализирующим, является ли результат действия хуже или лучше ожидаемого (Holroyd & Coles, 2002; Matsumoto et al., 2007).

Предыдущие исследования показали, что лобная кора получает обширные дофаминергические проекции (Fields et al., 2007). Более того, исследовательская

группа Кэмпбелла-Мейклджона успешно использовала агонист дофамина (метилфенидат) для модуляции социального конформизма (Campbell-Meiklejohn et al., 2012). Результаты применения метилфенидата показали, что данный препарат может повысить конформность, подтверждая нашу гипотезу об участии нейробиологической системы мониторинга деятельности, связанной с дофамином, в реакции мозга на социальное влияние и на последующее конформное изменение мнения.

МЭГ-корреляты социального группового давления. В четвертом исследовании, отобранном для защиты (Zubarev et al., 2017), мы использовали метод регистрации МЭГ для дальнейшего изучения временной и пространственной динамики психофизиологических коррелятов конформизма. В большинстве первоначальных исследований социального давления и конформизма использовался метод фМРТ, обладающий хорошим пространственным разрешением, но при этом отражающий в первую очередь изменения кровотока в мозге человека. Именно поэтому фМРТ-сигнал обладает определёнными анатомическими особенностями и сравнительно ограниченным временным разрешением, что может существенно ограничить наше понимание нейрокогнитивных механизмов конформизма. Метод МЭГ наряду с неплохим пространственным разрешением обладает и великолепным временным разрешением, что позволяет существенно дополнить результаты фМРТ-исследований.

Проведенное ЭЭГ-исследование, описанное в предыдущем разделе, во многом фокусировалось на компоненте НСО. Однако важно отметить, что мозговой источник данного компонента остается дискуссионным. Многие фМРТ-исследования показали повышение активности в ЗМЛ-коре в ответ на негативные результаты деятельности. Однако результаты МЭГ и ЭЭГ-исследований поставили под сомнение существование единственного мозгового источника двух функционально тесно связанных компонентов вызванных потенциалов: НСО

(Doñamayor et al., 2011; Doñamayor, Schoenfeld, et al., 2012), и *негативности, связанной с ошибкой* (error related negativity, ERN) (Agam et al., 2011). МЭГ-исследования продемонстрировали наличие источника данной активности в задней медиальной коре, включая заднюю поясную кору и предклинье. Например, комбинированный анализ МЭГ-ЭЭГ-данных локализовал мозговую активность, связанную с мониторингом ошибок в задней поясной коре, в отличие от данных фМРТ у тех же испытуемых (Agam et al., 2011). Таким образом, результаты нейрокартирования мозговой системы мониторинга ошибок с помощью методов ЭЭГ/МЭГ и фМРТ не могут быть интегрированы напрямую. Поэтому мы посчитали особенно важным воспользоваться методом МЭГ для дальнейшего уточнения пространственных и временных аспектов нейрокогнитивных механизмов мониторинга соответствия (или несоответствия) индивидуального мнения и мнения группы. В нашем МЭГ-исследовании приняли участие двадцать испытуемых (средний возраст — 24,2 года). Мы использовали 306-канальную МЭГ-систему Elekta Neuromag со 102 магнитометрами и 204 планарными градиометрами (частота дискретизации = 1000 Гц, фильтр нижних частот 333 Гц). Детали статистического анализа приведены в статье Zubarev et al., 2017 (стр. 4).

Анализ МЭГ-данных, зарегистрированных во время выполнения испытуемыми теста на конформизм, показал, что мнение группы, не совпадающее с мнением испытуемого, вызывают активность в задних областях медиальной коры, включая предклинье и заднюю поясную кору, во временных интервалах 220—320 и 380—530 мс., соответственно. Также наблюдалось увеличение мощности лобной тета-активности (4-8 Гц). МЭГ-данные дают дополнительные доказательства выдвинутой в данной работе гипотезе об ожиданиях центральной нервной системой соответствия индивидуального мнения мнению группы, поскольку увеличение мощности тета-ритмов ранее было связано с мозговым ОПВ-сигналом (Cavanagh et al., 2012), который отражает поведенческие ошибки. Мы провели дополнительное моделирование источника осцилляторной активности и обнаружили, что в пробах «несоответствие группе» наблюдалась повышенная тета-активность в медиальных

областях коры, включая ВМПФК, переднюю и заднюю поясную кору, частично перекрываясь с источниками вызванных ответов в тех же пробах. Интересно отметить, что результаты нашего МЭГ-исследования показали, что мнение группы, совпадающее с мнением испытуемого, усиливало бета-осцилляции (13—30 Гц) в вентральной медиальной префронтальной коре (ВМПФК). Таким образом, наши МЭГ-данные продемонстрировали, что соответствие дескриптивным нормам воспринимается скорее, как вознаграждение: совпадение с мнением группы повышает активность бета-диапазона в ВМПФК, то есть в одном из ключевых центров мозга, отвечающих за оценку ценности результата деятельности. Таким образом, МЭГ-данные продемонстрировали возможность существования отдельных нейрокогнитивных под-механизмов конформизма, отслеживающих (а) отклонения от норм и (б) соблюдение норм.

Предыдущие фМРТ-исследования социального влияния, включая фМРТ-исследование нашей научной группы, последовательно обнаруживали повышенную активность ЗМЛ-коры при несовпадении индивидуального мнения и мнения группы (см. обзор Izuma, 2013). Напротив, результаты нашего МЭГ-исследования не показали подобной активности в ЗМЛ-коре (рисунок 8). В свою очередь, МЭГ-данные продемонстрировали более фронтальные и более затылочные медиальные источники таких вызванных ответов мозга, которые соответствуют аналогичным ЭЭГ/МЭГ исследованиям мозговой системы мониторинга результатов поведения (Doñamayor, Heilbronner, et al., 2012; Doñamayor, Schoenfeld, et al., 2012; Talmi et al., 2012). Предыдущее мультимодальное ЭЭГ-МЭГ-фМРТ-исследование восприятия ошибок также показало более затылочную локализацию МЭГ-активности в отличие от фМРТ-активаций (Agam et al., 2011). В целом наши МЭГ-результаты указывают на некоторые расхождения между фМРТ- и МЭГ-коррелятами восприятия несовпадения индивидуального мнения и мнения социальной группы, по-видимому, объясняющиеся особенностями данных методов. Кроме того, МЭГ-результаты указали на определенную роль задней медиальной коры головного

мозга (включая заднюю поясную кору) в восприятии социального давления группы. Дальнейшие мультимодальные исследования с использованием разных методов нейровизуализации позволят устранить некоторые противоречия в результатах фМРТ и МЭГ-исследований конформизма.

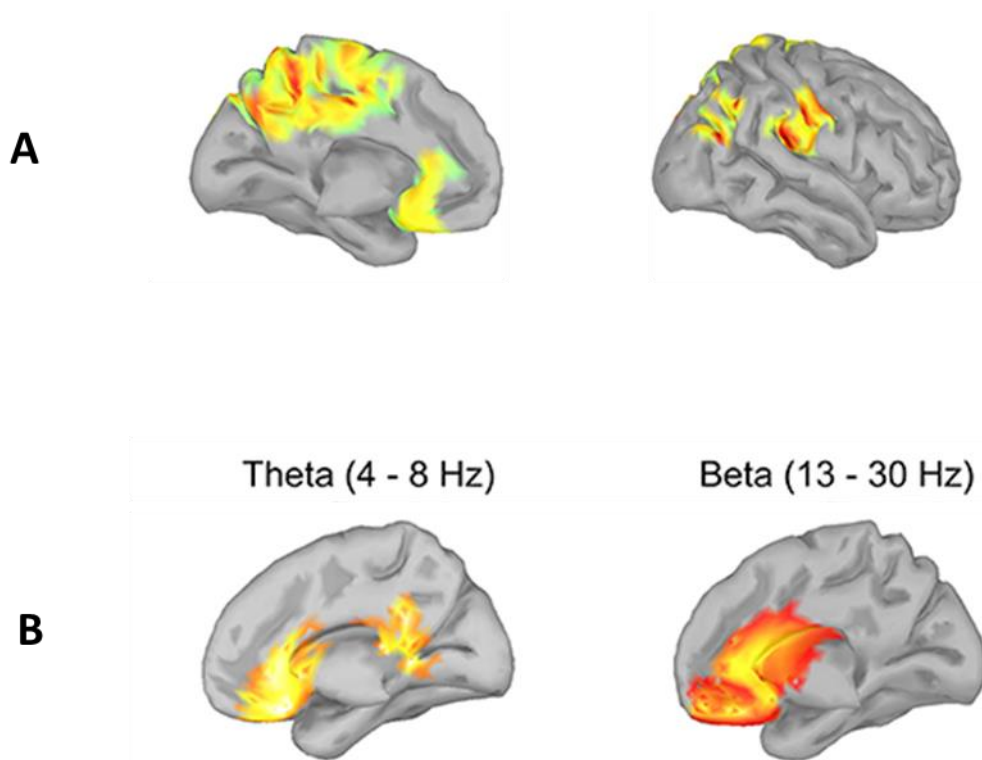


Рис. 8. Активность мозга, отражающая давление со стороны группы в МЭГ-исследовании с использованием теста на конформизм:

(А) Реконструкция источника активности иллюстрирует различия между вызванными реакциями в пробах «несоответствие группе» и в пробах «соответствие группе».

(В) Усредненная локализация источника для тета- (слева) и бета- (справа) осцилляторной активности, которые значительно различались между пробами «несоответствие группе» и пробами «соответствие группе» (Zubarev et al., 2017)

В целом наши МЭГ-данные показали, что различные подпрограммы нейрокогнитивного механизма мониторинга социального давления могут обеспечивать нормативную гомогенность мнений в группе. Во-первых, мы наблюдали ОПВ-подобный сигнал в ответ на несоответствие мнению группы: медиальные вызванные ответы мозга и тета-осцилляции сигнализировали об отклонениях от группового мнения. Этот механизм, видимо, задействует нейрокогнитивные алгоритмы, схожие с обработкой поведенческих ошибок,

локализованные в медиальной коре головного мозга: в поясной (цингулярной) коре и в прилежащих (парацингулярных) областях коры. Во-вторых, активность в ВМПФК и передней поясной коре отражает положительное вознаграждение от совпадения с нормативным мнением в виде всплеска бета-осцилляций. Ключевая роль ВМПФК в интеграции поведения хорошо документирована в психофизиологических исследованиях (Knudsen & Wallis, 2022; Rolls et al., 2020). Например, Рой с коллегами предположили, что ВМПФК играет роль своеобразного интегративного центра для обработки сенсорной, эмоциональной, социальной, эпизодической и личностной информации (Roy et al., 2012). Действительно, ВМПФК тесно взаимосвязана с ключевыми функциональными областями мозга, что позволяет данной области связывать воедино крупномасштабные сети мозга во время принятия решений, обработки эмоций, формирования следов памяти, самовосприятия и социального познания. Таким образом, деятельность ВМПФК может усиливать следование дескриптивной норме и способствовать сплоченности группы, делая такое поведение немедленно подкрепляемым эмоциональной системой мозга.

V. Психофизиологические корреляты интернализации группового давления

Статья, отобранная для защиты: Gorin et al., 2021.

В пятой публикации, отобранной для защиты (Gorin et al., 2021), мы использовали МЭГ-метод для изучения интернализации группового давления. Большинство нейрокогнитивных исследований социального влияния сосредоточены в основном на психофизиологических коррелятах отклонений от групповой нормы. В ограниченном числе исследований изучались долгосрочные последствия группового давления. Однако один из важных исследовательских вопросов, стоящих перед исследователями конформизма, заключается в следующем: Приводит ли групповое давление к реальному изменению убеждений и мнения или испытуемые лишь демонстрируют внешнее согласие, не меняя своих

убеждений (Berns et al., 2010a; Edelson et al., 2011; Schnuerch, Koppehele-Gossel, et al., 2015; Schnuerch, Schnuerch, et al., 2015; Zaki et al., 2011)? В своем новаторском фМРТ-исследовании Джамиль Заки с коллегами использовали тест на конформизм, чтобы изучить влияние социального давления на изменение внутренних предпочтений (Zaki et al., 2011). Участникам исследования после ознакомления с мнением группы (в ходе сессии 1) предлагалось оценить стимулы повторно (в ходе сессии 2) во время фМРТ-сканирования. Анализ данных был направлен на поиск следов социального влияния, имевших место за 30 минут до проведения фМРТ-сессии, то есть оценивалось социальное влияние, возникшее ранее, в ходе сессии 1. Интересно, что социальное влияние, имевшее место в предыдущей сессии теста, отразилось на изменении текущей активности вентрального стриатума и ВМПФК, указывая на то, что дескриптивные нормы группы модулируют нейрофизиологические репрезентации ценностей релевантных стимулов. Таким образом, если группа оценивала фотографию как более привлекательную, то при повторном ее++ предъявлении активность вентрального стриатума и ВМПФК возрастала. И наоборот, если группа считала, что на фотографии изображено менее привлекательное лицо, то при повторном его предъявлении эта активность уменьшалась. Таким образом, активность в данных ключевых центрах мозга, отвечающих за кодирование субъективной ценности информации, отражала конфликты с нормами, произошедшие ранее, и менялась соответственно нормам группы. Результаты данного исследования показали, что групповое влияние во время теста на конформизм оказывает относительно длительное воздействие на мозговую систему оценки ценности стимулов. Авторы правомерно интерпретировали данные результаты, как отражение интернализации ценностей группы. Кроме того, последующее исследование подтвердило, что предпочтения сверстников (популярность продуктов питания) отражается на долгосрочных изменениях активности ВМПФК испытуемых-подростков (Nook & Zaki, 2015).

Мы использовали МЭГ-метод для визуализации источников активности мозга, отражающей последствия совпадения или несовпадения с мнением группы.

Мы воспользовались модифицированным тестом на конформизм, в котором участники оценивали степень доверия к лицу незнакомца (сессия 1) и далее узнавали степень доверия группы к данному лицу. Чтобы выявить психофизиологические корреляты интернализации группового давления, мы проанализировали МЭГ-активность в момент, когда участники вновь оценивали лица (сессия 2) без представления мнения группы. В эксперименте приняли участие двадцать добровольцев (средний возраст — 24,2 года, одна участница была исключена из дальнейшего анализа из-за чрезмерных артефактов в МЭГ-данных).

Данные были записаны и обработаны в соответствии с современными стандартами МЭГ-исследований (Gross et al., 2013) с использованием 306-канальной системы Elekta Neuromag, включающей 102 магнитометра и 204 планарных градиентометра, с частотой дискретизации 1000 Гц и фильтром нижних частот 333 Гц. Детали статистического анализа приведены в статье Gorin et al., 2021 (стр.7).

Анализ МЭГ-данных показал «отклик» прошлых совпадений или несовпадений с мнением группы в медиальной теменной коре через 230 мс. после предъявления лица в ходе сессии 2. За такими, относительно ранними, МЭГ-коррелятами несовпадений с мнением большинства следовала активность в ВМПФК примерно спустя 320 мс. после предъявления стимула. Интересно отметить, что относительно более ранние маркеры давления группы в теменной доле могут указывать на модуляцию обработки лиц и памяти на данные лица (рисунок 9). Более поздние маркеры долгосрочного социального влияния могут отражать модуляцию оценки ценности в вентромедиальной префронтальной коре. В целом МЭГ-результаты демонстрируют пространственно-временные характеристики нейрокогнитивного механизма социального давления группы, который отражает историю группового давления, происходившего в прошлом. Таким образом, наши МЭГ-данные продемонстрировали последовательность физиологических маркеров относительно долгосрочных (спустя более 30 минут)

последствий давления группы: за ранними маркерами модифицированной когнитивной обработки стимулов следуют более поздние маркеры долгосрочного социального влияния на оценку их значимости.

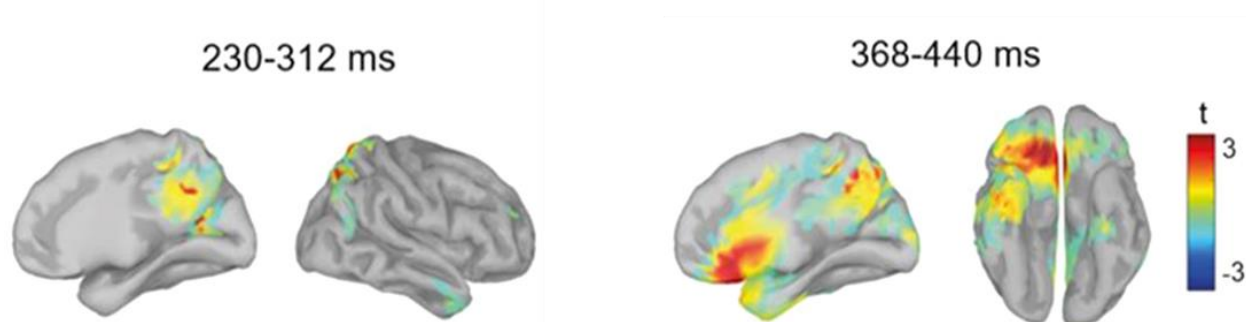


Рисунок 9. МЭГ-корреляты последствий социального влияния (в ходе сессии 2 теста на конформизм), отражающие «эхо» прошлого расхождения индивидуального мнения и мнения группы. Статистические карты МЭГ-маркеров прошлого несоответствий с большинством в пространстве источника МЭГ-сигнала (Gorin et al., 2021)

Примечательно, что в данном исследовании пространственно-временные характеристики МЭГ-коррелят интернализации группового давления, зарегистрированные в ходе сессии 2, соответствовали МЭГ-коррелятам отклонения от дескриптивных норм в ходе сессии 1 теста на конформизм, которые были зарегистрированы в предыдущем МЭГ-исследовании (Zubarev et al., 2017). Несовпадение суждениями группы (не имеет значения, произошли ли они прямо сейчас (Zubarev et al., 2017) или 30 минут назад (Gorin et al., 2021)) в обоих исследованиях вызвали активность в медиальной теменной коре и ВМПФК. Интересно, что наши результаты могут быть также интерпретированы в контексте ЭЭГ-исследований социального влияния (Chen et al., 2012; Kim et al., 2012; Shestakova et al., 2013), которые продемонстрировали электрофизиологические корреляты группового давления в аналогичном временном окне в районе 200 мс. Таким образом, долгосрочные МЭГ-маркеры отклонений от норм группы не противоречат предлагаемому нами нейрокогнитивному механизму конформизма,

основанному на принципах, сходных с мониторингом эффективности несоциальных форм поведения. Возможно, стимулы в сессии 2 теста на конформизм вызывают нейрофизиологический сигнал, сходный с ОПВ-сигналом. Такой стимул может сигнализировать возможный конфликт с мнением референтной группы. Например, предыдущие ЭЭГ-исследования показали, что стимулы, предсказывающие будущие потери, часто вызывают более сильные отклики в активности мозга, связанные с детекцией возможных ошибок, по сравнению со стимулами, предсказывающими будущие вознаграждения (Baker & Holroyd, 2011; Dunning & Hajcak, 2008). Сходно с поведенческой тенденцией на избегание потерь (loss aversion), мозговые сигналы вероятности будущих потерь вызывает более сильную активность мозга, чем сигналы вероятности будущих вознаграждений (Holroyd et al., 2009; Liao et al., 2011; Walsh & Anderson, 2012). Интересно, что вызванные реакции на стимулы, предсказывающие будущие потери, часто имеют сходную топографию с вызванными реакциями мозга на сами потери. Таким образом, в нашем МЭГ-исследовании стимулы, в отношении которых участники ранее не соглашались с мнением группы, могут сигнализировать о несоответствии дескриптивным нормам в прошлом и таким образом «предупреждать» о потенциальных конфликтах в будущем.

Наши МЭГ-данные также показали роль предклинья в интернализации группового давления. Предыдущие фМРТ-исследования продемонстрировали усиление активности предклинья при несоответствии индивидуального мнения мнению группы относительно здоровых и нездоровых продуктов питания (Nook & Zaki, 2015), привлекательности лица (Klucharev et al., 2009) и доверия к человеку (Zubarev et al., 2017). Поскольку предклинье вовлечено в общую обработку поведенческих ошибок (Nadig et al., 2010), данная область вполне может длительное время сохранять информацию о ОПВ-подобных сигналах социального обучения. Кроме того, предклинье связано с обновлением информации о степени доверия, когда текущая информация о моральном поведении социального агента не соответствует прошлой информации о нем (Mende-Siedlecki et al., 2013), что

может происходить и в нашем МЭГ-исследовании. В то же время теменные МЭГ-корреляты социального давления в нашем исследовании — в дорзальных отделах теменной коры и внутритеменной борозде — могут указывать и на долгосрочные изменения в когнитивной обработке лиц, вызванной расхождениями в их оценке между индивидуальным мнением и дескриптивными нормами.

Исследования нисходящего внимания (top-down attention) показали, что верхняя теменная кора участвует в произвольном внимании, в поиске и проверке информации, находящейся в долгосрочной памяти (Cabeza et al., 2008; Corbetta & Shulman, 2002). Таким образом, в данном МЭГ-исследовании активность дорзальных отделов теменной доли может свидетельствовать о более эффективном поиске энграмм в памяти для тех стимулов (лиц), которые ассоциируются с расхождениями между индивидуальным мнением и мнением группы (Hutchinson et al., 2014). С другой стороны, конфликт с мнением группы может сделать такие стимулы более «заметными», делая их репрезентации в мозге более детальными и эффективными для облегчения будущих социальных взаимодействий.

Интересно, что в данном МЭГ-исследовании мы не наблюдали значимых долгосрочных коррелятов конформных изменений мнения, которые имели место во время предшествующей сессии 1, но мы зарегистрировали «эхо» возникавших ранее несоответствий с дескриптивными нормами. Очевидно, что дополнительные исследования с использованием оптимизированных поведенческих парадигм необходимы для дальнейшего изучения МЭГ-коррелятов конформного изменения мнений. Новые парадигмы, более чувствительные к слабовыраженным МЭГ-коррелятам изменения мнения, к особенностям их локализации, могут помочь обнаружить долгосрочные МЭГ-отклики интернализации социального влияния в центральной нервной системе.

Активность внутритеменной борозды, отражающая долгосрочные последствия несоответствия мнению группы, наблюдаемая в нашем МЭГ-исследовании, подтвердила предыдущие результаты фМРТ-сканирования, которые

показали влияние группового давления на данную область мозга во время выполнения задания на мысленное вращение фигур (Berns et al., 2005). В нашем МЭГ-исследовании активность внутритеменной борозды при предъявлении лиц была сильнее, если индивидуальные мнения ранее не совпадали с мнениями группы. Интересно, что особое направление исследований ранее продемонстрировало, что активность внутритеменной борозды кодирует так называемую «ментальную шкалу цифр» (Nieder & Dehaene, 2009). Согласно данному подходу, в момент, когда испытуемые думают о цифрах или, например, оценивают привлекательность (или степень доверия) лица с помощью шкалы Лайкерта, они используют воображаемую числовую линию, которая отображает иерархию числовых значений линейным образом. Методы нейровизуализации и нейропсихологические исследования показали, что числа, вероятно, представлены вдоль непрерывной, ориентированной слева направо, воображаемой линии, закодированной во внутритеменной борозде. Например, повреждение внутритеменной борозды существенно нарушает обработку чисел (Ganor-Stern et al., 2020). Таким образом, в настоящем МЭГ-исследовании активность внутритеменной борозды может указывать на перекалибровку оценок лица, вызванных социальным влиянием группы.

В настоящем МЭГ-исследовании мы также обнаружили, что активность ВМПФК и передней поясной коры отражает имевшие ранее место несоответствия дескриптивным нормам. Важно отметить, что венстромедиальные корреляты расхождения с мнением группы наблюдались во временном интервале 388–412 мс. в ВМПФК. Это подтверждает и дополняет предыдущие фМРТ-результаты, которые продемонстрировали признаки интернализации социального влияния именно в активности ВМПФК (Zaki et al., 2011). Важно отметить, что роль ВМПФК в обработке вознаграждений, а также при обучении на основе результатов деятельности, при принятии решений и с использованием механизмов социального познания хорошо задокументирована в нейрокогнитивных исследованиях (см. например, Elliott et al., 2010; O’Doherty, 2004; Padoa-Schioppa & Assad, 2006;

Rushworth et al., 2007). Таким образом, наши результаты косвенно подтверждают гипотезу о том, что социальное влияние манипулирует базовым механизмом обучения, сходным с механизмом, генерирующим ОПВ-сигнал, что приводит к изменению ценности стимулов, кодируемой дофаминергической системой мозга.

Так же, как и в нашем ЭЭГ-исследовании (Shestakova et al., 2013), мы не обнаружили существенного влияния несоответствий с суждениями группы, имевших место в сессии 1, на амплитуду компонент M170, специфичного для восприятия лица в ходе сессии 2. Компонент M170 связан с ранними стадиями обработки лица (Halgren et al., 2000), и предыдущее ЭЭГ-исследование показало увеличение аналогичного компонента P2 (155-175 мс.) для лиц, в отношении которых участники ранее совпадали с оценкой группы, по сравнению с лицами, в оценках которых они расходились с группой (Schnuerch, Koppehele-Gossel, et al., 2015). В нашем МЭГ-исследовании (Gorin et al., 2021) в ходе сессии 2 мы наблюдали в МЭГ-активности отклик предыдущих расхождений с мнением группы во временном интервале 158–312 мс. Возможно, МЭГ-корреляты несоответствия/соответствия дескриптивной норме в данном временном окне являются эквивалентом компонента P2 в ЭЭГ-исследованиях. Такая интерпретация может свидетельствовать о том, что несоответствие или соответствие суждениям группы меняет внимание к релевантным стимулам. Однако существуют серьезные методологические трудности для однозначного сравнения результатов МЭГ- и ЭЭГ-исследований без их параллельной записи, поскольку ЭЭГ- и МЭГ-методы чувствительны к разным источникам биоэлектрической активности мозга (Hämäläinen & Ilmoniemi, 1994). Таким образом, комбинированные записи ЭЭГ и МЭГ критически важны для проверки, обобщения и интерпретации электрофизиологических коррелят долгосрочных последствий социального влияния на воспринятые стимулы и на избирательное внимание к ним.

В отличие от предыдущих фМРТ-исследований, долгосрочные маркеры группового давления в нашем МЭГ-исследовании были относительно неспецифичными и нечувствительными к знаку и уровню несоответствий с

мнением группы. Важно отметить, что некоторые расхождения между результатами фМРТ- и МЭГ-исследований социального влияния могут быть объяснены серьёзными методологическими различиями. Во-первых, МЭГ-исследования часто требуют существенно большего количества проб, чем фМРТ-исследования. Ограниченное число проб в нашем МЭГ-исследовании могло снизить статистическую чувствительность анализа данных. Во-вторых, поведенческие парадигмы часто различаются между нейровизуализационными исследованиями социального влияния. Например, в настоящем МЭГ-исследовании (Gorin et al., 2021) участники оценивали доверие по фотографиям лиц, тогда как в аналогичном фМРТ-исследовании участники оценивали привлекательность лиц (Zaki et al., 2011). Очевидно, что будущие мультимодальные исследования, комбинирующие МЭГ-, ЭЭГ- и фМРТ-методы при выполнении сходных поведенческих задач, необходимы для полной интеграции результатов различных нейровизуализационных исследований конформизма.

VI. Обобщенный нейрокогнитивный механизм социального конформизма

Статьи, отобранные для защиты: Ключарев и др., 2014; Zinchenko, Klucharev 2017.

Нейробиологический механизм конформизма

В шестом и седьмом исследованиях, отобранных для защиты (Ключарев и др., 2014; Zinchenko & Klucharev, 2017), мы произвели попытку обобщить результаты исследований и предложить нейрокогнитивный механизм конформизма. На сегодня существуют три основных альтернативных гипотезы нейрокогнитивного механизма социального влияния на мнение человека. Согласно первому предложенному механизму, воспринимаемые нами отклонения от дескриптивных норм вызывают негативное эмоциональное состояние, для нейтрализации которого требуется конформная корректировка мнения (Berns et al.,

2005). Второй механизм подчеркивает ключевую роль когнитивной несогласованности, которая кодируется в ЗМЛ-коре (Izuma & Adolphs, 2013) и приводит к возникновению когнитивного диссонанса, требующего тех или иных изменений в установках испытуемого. Третий, разработанный нашей исследовательской группой гипотетический механизм конформизма, аналогичен принципу обучения с подкреплением (Klucharev et al., 2009; Montague & Lohrenz, 2007). Он реализуется в ЗМЛ-коре и вентральном стриатуме, при этом испытуемые корректируют свои внутренние установки и субъективную ценность тех или иных стимулов в соответствии с мнением группы на основе ОПВ-подобного нейрофизиологического сигнала обучения. Ниже мы предложим развернутое описание такого гипотетического обобщенного механизма социального конформизма, который интегрирует текущие знания о психофизиологических коррелятах группового давления.

Реалистичный нейрокогнитивный механизм конформизма должен учитывать ряд ключевых аспектов социального влияния группы. В течение нашей эволюционной истории поведение социальной группы сигнализировало индивидам чрезвычайно актуальную, жизненно важную информацию. Поскольку эффективность поведения организма в каждый момент времени верифицируется естественным отбором, то большинство в группе будет придерживаться одних и тех же моделей поведения только в том случае, если они выгодны в текущих условиях. Все неоптимальные стратегии немедленно элиминируются естественным отбором, что приводит к постепенному увеличению пропорции оптимальных стратегий поведения. С этой точки зрения, не имея поведенческая стратегия важного преимущества, то она была бы распространена в группе в пропорции, равной представительству других поведенческих стратегий. Таким образом, конформизм к поведению группы должен иметь важное преимущество, так как с эволюционной точки зрения поведение большинства является «эволюционно стабильной стратегией», которая не может быть улучшена другой альтернативной стратегией (Smith & Price, 1973). Отсюда следует, что наилучшая индивидуальная

поведенческая стратегия — та, которая соответствует стратегии большинства (Dawkins, 1989), поскольку естественный отбор, скорее всего, накажет за отклонения от оптимальных дескриптивных норм. Следовательно, мониторинг отклонений от дескриптивных норм жизненно важен для выживания организма и должен быть интегрирован в нейрокогнитивный механизм мониторинга результативности поведения.

В целом соответствие нормам группы требует обучающего сигнала, который отслеживает отклонения от норм и требует корректировки в соответствии с поведением большинства. В несоциальных контекстах, в меняющейся естественной среде эффективная корректировка поведения жизненно важна для выживания. Поэтому за миллионы лет эволюции организмы выработали определенные механизмы обучения, которые включают механизм коррекции ожиданий от того или иного варианта решений. Простейший алгоритм такой коррекции присваивает ожидаемую ценность доступным опциям, причем ценность опции постоянно обновляется с помощью механизма обучения с подкреплением (Schultz et al., 1997). Многие когнитивные нейробиологи, изучающие различные формы социального обучения, пришли к выводу о том, что обучение на основе поведения окружающих вполне может использовать тот же нейрокогнитивный механизм, что и обучение в несоциальных контекстах (см. например, Behrens et al., 2009; Heyes, 2012). Так, Беренс с коллегами продемонстрировал, что два соседних субрегиона ЗМЛ-коры вовлечены как в обучение на основании социальной информации, так и в обучение на основании индивидуальных вознаграждений, то есть социальное научение может обеспечиваться механизмом, сходным с обучением с подкреплением, вовлекающим активность ЗМЛ-коры и работу связанной с этой областью дофаминергической системы (Behrens et al., 2009). Важно отметить, что, хотя данная гипотеза находит серьезное эмпирическое подтверждение, однако степень сходства нейрокогнитивных механизмов и фундаментального механизма обучения с подкреплением остается не до конца проясненной (Levorsen et al., 2021).

В целом гипотетический нейрофизиологический обучающий сигнал, указывающий на отклонения от дескриптивных норм, должен инициировать механизм конформной подстройки к поведенческим стратегиям большинства и по своей функции может быть аналогичен стандартному ОПВ-сигналу в обучении с подкреплением. Зачастую для социального научения достаточно однократного воздействия социальных норм, что делает практически невозможным абсолютное подобие механизма социального конформизма классическому (model free) механизму обучения с подкреплением, требующему многократного повторения проб и ошибок. Тем не менее конфликт с мнением группы может генерировать сигнал, подобный ОПВ-сигналу — ошибку прогнозирования *социального вознаграждения*, отражающую разницу между реальным индивидуальным поведением/мнением и ожидаемой дескриптивной нормой группы. Такой обучающий ОПВ-сигнал ошибки может использоваться для со-настройки убеждений внутри группы, в зависимости от того, какой вес придается конкретным индивидом важности социального согласия в данной группе. Предыдущие исследования методами нейровизуализации в значительной степени подтверждают данную гипотезу и показывают, что активность вентрального стриатума и ЗМЛ-коры отслеживает и обновляет субъективные ценности стимулов на основе сравнения индивидуального мнения и мнения группы.

Ряд нейровизуализационных исследований показал хорошо воспроизводимое участие ЗМЛ-коры, островковой коры и вентрального стриатума в нейронных механизмах социального влияния (например, Behrens et al., 2009; Berns et al., 2010a; Falk et al., 2010; Klucharev et al., 2009). Обширный мета-анализ нейровизуализационных исследований подтвердил, что активность дорсальной ЗМЛ-коры, вентрального стриатума и передней островковой коры систематически наблюдается в исследованиях, изучающих социальное влияние на принятие решений (Wu et al., 2016): несоответствие индивидуального мнения с мнением группы деактивирует вентральный стриатум и активирует дорсальную ЗМЛ-кору и островковую кору. Важно отметить, что активность в ЗМЛ-коре надежно

предсказывает последующие конформные корректировки мнения в широком спектре нейровизуализационных исследований.

Чтобы описать нейрокогнитивный механизм влияния социальной группы, мы воспользовались модифицированным подходом Крюгера и Хоффмана, обобщивших нейрокогнитивные механизмы инициации наказания за нарушения социальных норм (Krueger & Hoffman, 2016). Важно отметить, что современные когнитивные нейронауки все больше фокусируются не на отдельных областях мозга, но на крупномасштабных сетях, объединяющих целый ряд областей в единую функциональную структуру. Нейровизуализационные исследования демонстрируют, что именно крупномасштабные сети, а не отдельные области мозга создают биологическую основу когнитивной архитектуры мозга человека. Большой объем исследований выявил несколько ключевых крупномасштабных сетей мозга, которые вовлечены в формирование суждений, установок и принятие решений. Это в первую очередь *сеть управляющих функций (центральная исполнительная сеть—central executive network)*, *сеть пассивного режима работы мозга (сеть по умолчанию—default mode network)* и *сеть салиентности (салиентная сеть—salience network)*. В целом, чтобы предложить нейрокогнитивный механизм социального влияния, мы должны учесть, что когнитивные функции распределены внутри широкомасштабных сетей мозга и реализуются «оркестром» большого числа отделов мозга.

Наши исследования показали ключевую роль *сети салиентности* при выявлении отклонений от дескриптивных норм (рисунок 10). *Сеть салиентности* включает в себя передний отдел островковой коры, ЗМЛ-кору и ряд подкорковых структур, таких как миндалевидное тело, вентральный стриатум и черная субстанция / вентральная тегментальная область (Menon, 2015). Мы предполагаем, что ряд узлов данной сети распознает нарушения дескриптивных норм (в первую очередь с участием ЗМЛ-коры), генерирует ОПВ-подобный обучающий сигнал (с участием вентрального стриатума), который является триггером конформных

корректировок мнения и поведения. Роль *сети по умолчанию* в механизме конформизма в значительной степени проигнорирована в предыдущих нейровизуализационных исследованиях конформизма. Однако на основании существующих данных мы предполагаем, что в момент социального влияния *сеть салиентности* взаимодействует с *сетью по умолчанию*, вовлеченной в ментализацию, память и самоконтроль (Bressler & Menon, 2010). Посредством работы *сети по умолчанию* социальные и личные контексты модулируют эффекты социального влияния. Например, существует сильная склонность подчиняться большинству референтной группы (in-group), при этом мнение внешней группы (out-group) может в значительной степени игнорироваться. Таким образом, *сеть по умолчанию*, включая медиальные отделы префронтальной коры, височно-теменные отделы коры, может быть вовлечена в интеграцию эмоциональных переживаний, личных и социальных контекстов с обучающим сигналом мозга, указывающим на нарушения дескриптивных норм. Далее, конформная корректировка убеждений и поведения может находиться под контролем *центральной исполнительной сети*, включающей дорсолатеральную префронтальную кору (ДЛПФК), которая участвует в оценке контекстов данного поведения более высокого порядка — в оценке текущих стратегий поведения, в самоконтроле, а также в финальном принятии решений (Bressler & Menon, 2010). Такой механизм предполагает, что *центральная исполнительная сеть* преобразовывает контекстно-зависимый обучающий сигнал (кодирующий нарушение нормы) в финальную корректировку поведения.

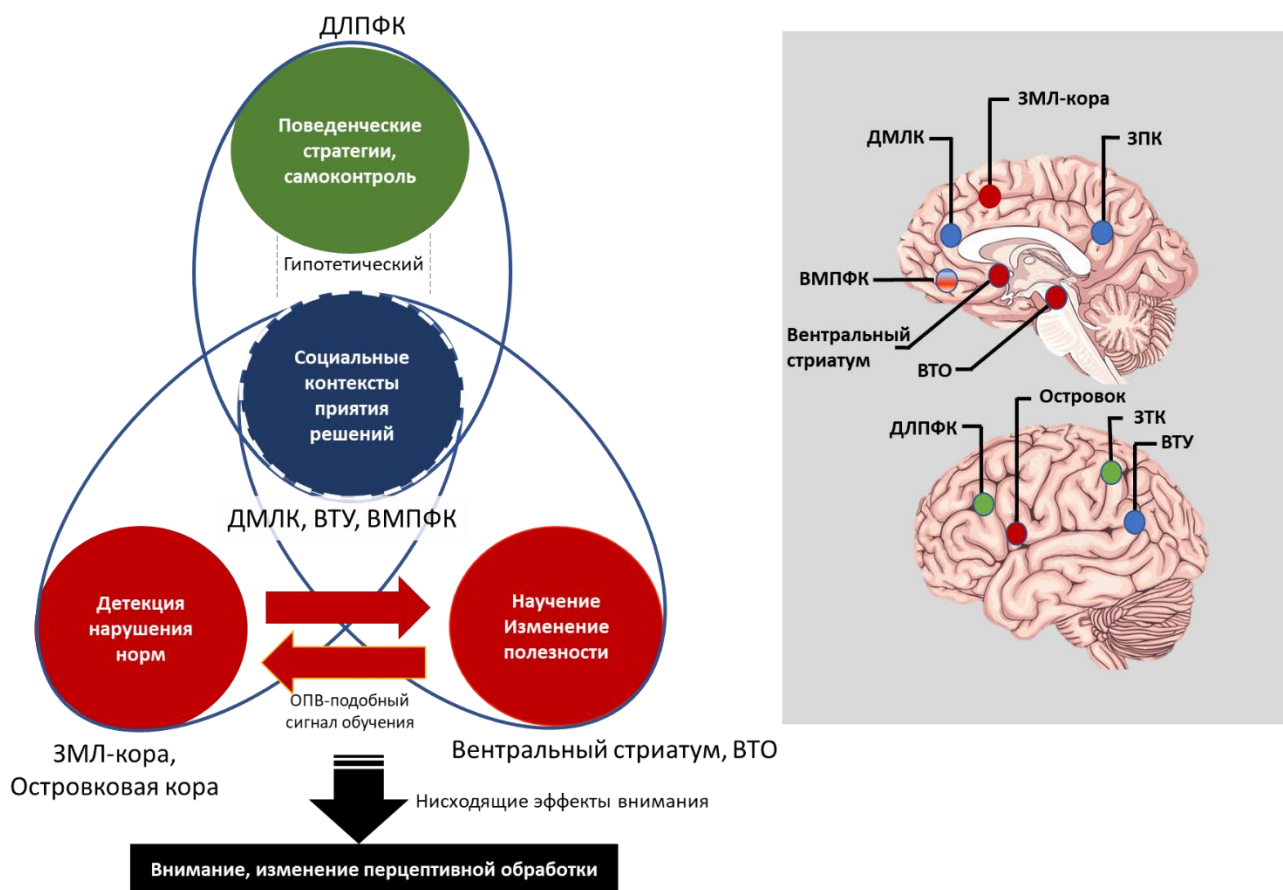


Рис. 10. Гипотетический нейрокогнитивный механизм (слева) и ключевые крупномасштабные сети мозга (справа) обеспечивающие социальный конформизм к групповым дескриптивным нормам. В соответствии с данной гипотезой, конформизм инициируется после обнаружения отклонений от норм сетью *салиентности* (*salience network*), которая отслеживает нарушения норм данной группы (ЗМЛ-кора) и совместно с дофаминергической системой (вентральным стриатумом) генерирует ОПВ-подобный обучающий сигнал. В параллель другим исследованиям социальных норм (Krueger & Hoffman, 2016) мы предполагаем, что данный обучающий сигнал должен адаптироваться к конкретным социальным контекстам (например, обычно нарушения норм референтной или внешней группы имеют разные последствия для индивида) с использованием *сети пассивного режима работы мозга* (*default mode network*) (синий), включающей области мозга, вовлеченные в ментализацию (задняя поясная кора, височно-теменной узел). Наконец, *сеть управляющих функций* (*central executive network*), которая включает дорсолатеральную префронтальную кору (ДЛПФК, англ. — dorsolateral prefrontal cortex), преобразует контекстно-зависимый обучающий сигнал в конкретное решение и изменение мнения, используя при необходимости элементы самоконтроля. Данная

система может также адаптивно модулировать избирательное внимание к стимулам, связанным с конфликтами индивидуального и группового мнения.

Сокращения. *Сеть салиентности*, красный цвет: ЗМЛ-кора — задняя медиальная лобная кора, островок — островковая кора, ВТО — вентральная тегментальная область. *Сеть по умолчанию*, синий цвет: ДМЛК — дорсомедиальная лобная кора, ВМПФК — вентромедиальная префронтальная кора, ЗПК — задняя поясная извилина, ВТУ — височно-теменной узел. *Центральная исполнительная сеть*, зеленый цвет: ДЛПФК — дорсолатеральная префронтальная кора, ЗТК — задняя теменная кора

В целом, согласно выдвинутой гипотезе, механизм социального влияния состоит из (а) детекции отклонения от нормы (*сеть салиентности*), (б) оценки личной значимости данного нарушения нормы (*сеть по умолчанию*), а затем (в) выбора способа реагирования или игнорирования группового давления (*центральная исполнительная сеть*). Такой каскад нейрокогнитивных вычислений приводит к интериоризации релевантных социальных норм и нисходящему воздействию на внимание и сенсорную обработку значимой информации. Предыдущие исследования в основном были сосредоточены на роли *сети салиентности* в нейрокогнитивный механизм конформизма. Очевидно, что необходимы дальнейшие исследования, чтобы проверить нашу гипотезу о важнейшей роли *сети по умолчанию* и *центральной исполнительной сети* в социальном влиянии на наши установки и поведение. Исходя из существующих эмпирических данных, мы можем предположить, что такой нейрокогнитивный механизм конформизма может быть распространен и на другие формы социального влияния.

Широкий контекст изучения нейрокогнитивный механизмов социального конформизма

В данном разделе на основе существующих эмпирических данных предлагается рассмотреть, насколько предложенный гипотетический нейрокогнитивный механизм конформизма соответствует результатам

исследований с использованием различных поведенческих парадигм и социальных контекстов.

Данные фМРТ-исследования показали участие ЗМЛ-коры в обработке группового давления во время экспериментальной игры Ультиматум, где участники информировались о решениях других игроков (Wei et al., 2013). Несоответствие с мнением группы активировало *сеть saliентности*, включая ЗМЛ-кору и островковую кору. Важно отметить, что более сильная активность ЗМЛ-коры и островковой коры сопровождалась более сильной корректировкой первоначального выбора участников по направлению к дескриптивным нормам группы. Другое фМРТ-исследование изучило влияние дескриптивных норм на межвременной выбор (Apps & Ramnani, 2017). Участники узнавали предпочтения группы во время выполнения ими теста, изучавшего межвременное дисконтирование вознаграждений, отсроченных на разные временные интервалы. Интересно, что именно активность ЗМЛ-коры отражала ценность вознаграждений во время конформного решения.

Также для верификации выдвинутой в данной работе гипотезы важно проверить, влияют ли на работу предлагаемого нейрокогнитивного механизма ключевые факторы, модулирующие социальное влияние. Тоэлч с коллегами создали экспериментальную парадигму, которая манипулировала и дескриптивными нормами группы и финансовыми бонусами за соблюдение групповых норм (Toelch et al., 2018). Как и в исследованиях нашей научной группы, отличие индивидуального решения от решения группы активировало ЗМЛ-кору по сравнению с пробами, где мнения совпадали. Однако распределение активности мозга в ЗМЛ-коре отличалось в пробах, где участники получали бонус за решение, сходное с решением группы, по сравнению с пробами, где они получали премию за решение, отличающееся от решения группы. В другом важном фМРТ-исследовании исследователи манипулировали источником группового давления (Izuma & Adolphs, 2013). Участники наблюдали за суждениями референтной

группы (in-group) или внешней группы (out-group) с отрицательной репутацией. Важно отметить, что активность ЗМЛ-коры отслеживала отличия между индивидуальным мнением и мнением группы, а также отражала, отличается ли индивидуальное суждение от суждения референтной или внешней группы. Межкультурное фМРТ-исследование американских и китайских испытуемых подтвердило дифференциальное влияние референтной и внешней групп на активность, связанную с групповым давлением в области ЗМЛ-коры, островковой коры и вентрального стриатума (Lin et al., 2018). В полном соответствии с большим корпусом данных социальной психологии испытуемые продемонстрировали более сильный конформизм к референтной группе (in-group той же национальности), чем к внешней группе (out-group иной национальности). Причем аналогичная дифференциальная модуляция активности мозга, связанная с групповым давлением двух национальных групп, наблюдалась в ЗМЛ-коре, островковой коре и вентральном стриатуме. Таким образом, широкий спектр нейровизуализационных исследований подтвердил, что *сеть салиентности* (включая ЗМЛ-кору, вентральный стриатум и островковую кору) участвует и в мониторинге нарушений норм, и в конформных корректировках внутренних установок и решений. Важно подчеркнуть, что согласно вышеприведённым исследованиям на активность *сети салиентности* во время группового давления влияют социальные контексты и условия, которые эффективно модулируют поведенческие эффекты социального влияния в повседневной социальной жизни.

Результаты нашего МЭГ-исследования (Gorin et al., 2021) показали, что социальное групповое давление может привести к долгосрочным последствиям, к интернализации такого давления и, возможно, к модуляции перцептивной обработки социально значимой информации или к модуляции внимания. Известно, что несоциальные формы вознаграждений могут усилить внимание к релевантным признакам стимулов, формируя произвольную предвзятость в их восприятии (Hickey et al., 2010). Например, наше независимое ЭЭГ-исследование показало, что обучение, основанное на полученном подкреплении, меняло

нейрофизиологическую реакцию мозга, связанную с непроизвольным вниманием, на релевантные стимулы, сигнализирующие подкрепление (Krugliakova et al., 2019). Интересно, что дескриптивные нормы модулируют активность затылочной и теменной коры, что демонстрирует возможность влияния социального влияния группы на сенсорную обработку информации (Berns et al., 2005). Сравнительно ограниченное число ЭЭГ-исследований продемонстрировало эффекты социального влияния на обработку зрительной информации и на процессы внимания (Schnuerch et al., 2016; Schnuerch, Koppehele-Gossel, et al., 2015). Так, было показано, что социальное влияние модулирует компонент P1, связанный с ранней обработкой зрительной информации (Trautmann-Lengsfeld & Herrmann, 2013), причем данный эффект сильнее проявляется у участников с низким уровнем автономии (Trautmann-Lengsfeld & Herrmann, 2014). Используя комплексную поведенческую парадигму, Гермар с коллегами продемонстрировали, что социальное давление влияет на принятие решений, меняя глубину обработки доступной сенсорной информации (Germar et al., 2014, 2016). Таким образом, под влиянием мнения окружающих испытуемые начинают более тщательно анализировать релевантную информацию, что, например, отражается в параметрах *диффузионной модели*, а именно в уменьшении *скорости дрейфа*, описывающего глубину обработки сенсорной информации. Мы также воспроизвели эти нетривиальные результаты, используя иные визуальные стимулы (неопубликованные данные). В целом как нейровизуализационные, так и поведенческие данные указывают на возможность влияния дескриптивных норм на обработку зрительных стимулов.

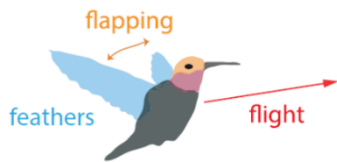
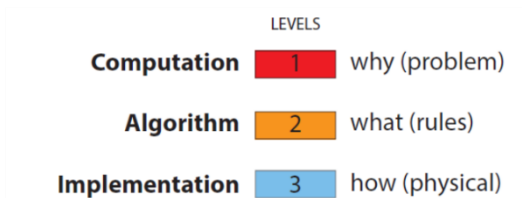
Важно отметить, что зачастую трудно экспериментально полностью разделить долгосрочные эффекты конформных корректировок мнения, приводящие к (а) изменению субъективной ценности опции и (б) к усилению внимания к ней. Эмоционально значимые стимулы зачастую обрабатываются в фокусе непроизвольного внимания, получают приоритетный доступ к селективному вниманию (см., например, Compton et al., 2003). Поэтому будущие исследования должны более детально прояснить механизмы конформизма,

особенно в контексте его долгосрочных последствий, которые могут быть основаны либо на корректировках ценности/значения стимула, либо на модуляции на внимания к стимулу.

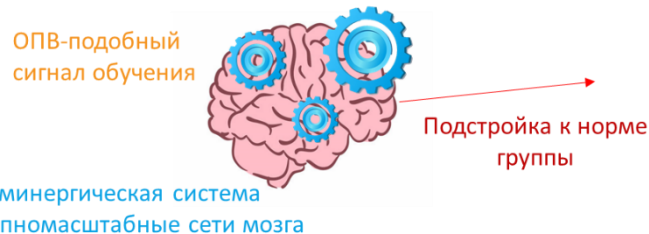
Порой трудно полностью интегрировать весь спектр нейровизуализационных исследований социального влияния из-за существенных различий в их методологии. Например, метод ЭЭГ отличается от фМРТ гораздо более точным временным разрешением, но меньшим пространственным разрешением. Поскольку социальное влияние в значительной степени определяется подкорковой дофаминергической активностью, метод ЭЭГ может обладать существенными ограничениями при изучении влияния конформизма на психофизиологические корреляты субъективной ценности стимулов. В то же время фМРТ может быть недостаточно чувствительным методом для вычленения нисходящих эффектов социального влияния на сенсорную обработку стимулов. Существуют также критические различия в поведенческих парадигмах, используемых в исследованиях социального влияния: например, в ряде исследований (Berns et al., 2005; Germar et al., 2016; Huber et al., 2013; Trautmann-Lengsfeld & Herrmann, 2013; Welborn et al., 2016) мнение группы представлялось до индивидуального суждения участника исследования, в то время как другие исследования представляли мнение группы после индивидуальных суждений (например, Izuma & Adolphs, 2013; Klucharev et al., 2009). Важно отметить, что первый экспериментальный подход может подчеркивать информационный характер конформизма, в то время как последний подход может фокусироваться на нормативных последствиях конформизма и процессах предсказания социальных последствий выражения собственного мнения.

В наших работах мы сосредоточились на социальном конформизме. К сожалению, до настоящего времени опубликовано ограниченное число нейровизуализационных исследований нейрокогнитивных механизмов иных форм социального влияния (см. например, Edelson et al., 2011; Falk et al., 2010; Falk et al.,

2013; Klucharev et al., 2008; Stallen et al., 2010). Например, новаторское фМРТ-исследование изучало активность мозга, вызванную эффективными сообщениями, убеждающими прекратить курение, в сравнении с подобными же, но неэффективными сообщениями (Chua et al., 2009). Интересно, что активность ЗМЛ-коры и ВМПФК усиливалась более эффективными аргументами против курения. В уникальном направлении исследований Фальк и Шольц сосредоточились на изучении нейрокогнитивных механизмов социального влияния как со стороны эффективных коммуникаторов, так и со стороны рецептивных получателей подобной убеждающей информации (Falk & Scholz, 2018). Действительно, нейрокогнитивные механизмы генерации эффективной убеждающей коммуникации и рецептивного конформизма к ней могут существенно различаться. Например, социальное одобрение может быть особенно сильным мотивирующим фактором для тех, кто пользуется социальным влиянием. Действительно, нейровизуализационные исследования показали, что решения об обмене убеждающей информацией и высокий успех коммуникатора связаны с активностью в системе мозга, вовлеченной в кодирование вознаграждений (Baek et al., 2017; Emily V. Falk et al., 2013; Scholz et al., 2017; Tamir et al., 2015). Это свидетельствует о положительной ценности обмена информацией с другими людьми. Информация, которую с большим энтузиазмом продвигали коммуникаторы, увеличивала активность в вентральном стриатуме, ВМПФК и ряде других областей мозга коммуникаторов (Falk et al., 2012). В целом активность в эмоциональных областях у эффективных коммуникаторов, таких как вентральный стриатум и ВМПФК, указывает на то, что совместное использование информации, приводящее к эффективному убеждению других людей, оценивается как положительное вознаграждение специализированными областями нашего мозга.



Три уровня анализа Дэвида Марра
(по Krakauer et al, 2017)



Конформизм: Три уровня

Рис. 11. Обобщение гипотетического механизма конформизма. Используя ставшие классическими три уровня анализа систем обработки информации Дэвида Марра (левая панель), мы предлагаем следующие три объяснительных уровня механизма конформизма (правая панель). (1) Конформизм—это эволюционно выгодная форма сравнительно «дешевого» социального обучения, которая также повышает групповую сплоченность и согласованность поведения. (2) Для обеспечения конформных подстроек к дескриптивным нормам центральная нервная система обнаруживает отклонения от дескриптивных норм и генерирует ОПВ-подобный обучающий сигнал. (3) Крупномасштабные мозговые сети, такие как *салиенная сеть (СС)*, *сеть по умолчанию (СПУ)* и *центральная исполнительная сеть (ЦИС)*, интегрируют обучающий сигнал с личными и социальными контекстами и преобразует его в финальные поведенческие конформные корректировки.

Некоторые когнитивные навыки могут быть особенно важны для эффективных коммуникаторов. Например, способность к *ментализации* и наличие эффективной *модели психического* (или *теории психического*, theory of mind) критически необходимы для успешного убеждения во время эффективной коммуникации. Действительно, более эффективные продавцы более склонны к ментализации и демонстрируют более сильную активность в областях мозга,

связанных с ментализацией, включая височно-теменной узел и медиальную префронтальную кору (Dietvorst et al., 2009).

Рисунок 11 обобщает наш текущий взгляд на нейрокогнитивный механизм социального конформизма. Мы предполагаем, что для осуществления эволюционно выгодного усвоения групповых норм *салиенсная сеть* (ЗМЛ-кора, вентральный стриатум, островковая кора) обнаруживает отклонения от дескриптивных норм и генерирует обучающий ОПВ-подобный сигнал, который взаимодействует с крупномасштабными сетями мозга, такими как *сеть пассивного режима работы мозга* (задняя поясная кора, височно-теменной узел), вовлеченными в ментализацию, и *центральная исполнительная сеть* (ДЛПФК), вовлеченную в контекстно-зависимую оценку более высокого порядка, самоконтроль и принятие решений. *Сеть пассивного режима работы мозга* интегрирует результаты эмоциональной обработки личных и социальных контекстов с обучающим сигналом, в то время как *центральная исполнительная сеть* преобразует контекстно-зависимый обучающий сигнал в финальную поведенческую адаптацию к норме и может играть определенную роль в сопротивлении социальному влиянию. Согласно такому подходу, ВМПФК участвует в интеграции работы крупномасштабных сетей в ходе социального влияния на индивида. Будущие исследования должны уточнить данный нейрокогнитивный механизм конформизма и, возможно, распространить его на другие формы социального влияния.

В целом когнитивным наукам предстоит провести большое число исследований с использованием самых разных методов нейровизуализации и математического моделирования для того, чтобы окончательно прояснить детали нейрокогнитивного механизма социального конформизма. В дальнейшем необходимо интегрировать нейрокогнитивные механизмы конформизма с ролью культуры и исследованиями кросс-культурных различий в коллективистских и индивидуалистических обществах, а также с результатами математических моделей,

в которых показывается, что редкие стратегии (например, см. Friedman et al., 2017) могут иметь преимущества в сложных новях. Однако за два последних десятилетия социальные нейронауки и нейробиология принятия решений предоставили когнитивным наукам новые инструменты для более глубокого понимания одной из самых драматических, но порой такой неприметной склонности человека— следовать за большинством.

VII. Выводы

Поведение человека находится под постоянным контролем социального окружения. Исследования когнитивной и социальной психологии продемонстрировали существенное влияние социальных дескриптивных норм на суждения, убеждения и поведение индивида. Тем не менее нейрокогнитивные механизмы конформности к дескриптивным нормам, которые сигнализируют доминирующее поведение или наиболее распространенные установки в группе, оставались в значительной степени не проясненными. Исследования, отобранные для защиты, стали одной из первых попыток прояснить нейрокогнитивный механизм конформной адаптации индивидуальных суждений к дескриптивным нормам. В серии нейровизуализационных исследований изучались психофизиологические корреляты конформизма и был предложен базовый нейрокогнитивный механизм конформных изменений в соответствии с мнением большинства в группе.

Во-первых, в фМРТ-исследовании мы продемонстрировали участие ЗМЛ-коры (задних медиальных отделов лобной коры), вентрального стриатума и островковой коры в реализации давления социальной группы. Данные фМРТ-сканирования показали, что активность ЗМЛ-коры и вентрального стриатума не только отражает социальное давление группы, но и предсказывает конформные корректировки индивидуального мнения в соответствии с дескриптивными нормами группы.

Во-вторых, в ТМС-исследовании мы проверили причинно-следственную связь активности ЗМЛ-коры и конформной корректировки индивидуального мнения в соответствии с мнением группы. Временное разрегулирование работы ЗМЛ-коры с помощью тета-импульсной ТМС уменьшило степень и вероятность конформных изменений в соответствии с дескриптивными нормами по сравнению с контрольными условиями стимуляции. В целом наше исследование предоставило первое доказательство казуальной связи ЗМЛ-коры и конформизма.

В-третьих, в ЭЭГ-исследовании мы продемонстрировали, что несоответствия между индивидуальным мнением и дескриптивными нормами вызывают фронто-центральный НСО-подобный вызванный ответ с максимумом в районе 200 мс., за которым следует более поздний компонент, достигающий максимума в 380 мс. и отражающий конформную адаптацию к дескриптивным нормам. Таким образом, наше ЭЭГ-исследование позволило разделить во времени психофизиологические корреляты нормативного давления и корреляты конформных корректировок мнения.

В-четвертых, в первом МЭГ-исследовании мы показали, что расхождение между индивидуальным мнением и мнением группы модулирует активность задней поясной коры, передней поясной коры, височно-теменного узла, ВМПФК и затылочной коры. Наши МЭГ-данные показали, что два подмеханизма обучения могут лежать в основе давления группы, включая (1) ОПВ-подобный сигнал в ЗМЛ-коре, который отслеживает несоответствия между индивидуальными суждениями и дескриптивными нормами, и (2) активность ВМПФК и передней поясной коры, приводящую к увеличению мощности бета-осцилляций нейрональной активности, отражающей положительное вознаграждение от следования дескриптивной норме.

В-пятых, во втором МЭГ-исследовании мы показали, что визуализация источников МЭГ-активности при повторном предъявлении стимулов в тесте на конформизм демонстрирует признаки длительного воздействия группового давления. Когда испытуемые подвергаются воздействию стимулов повторно (без

предъявления нормативной информации), предшествующие расхождения между индивидуальным мнением и нормативным мнением группы проявляются в вызванных ответах в медиальной теменной коре (230–312 мс.) и ВМПФК (368–440 мс.).

Наконец, в двух представленных теоретических работах мы пришли к выводу о том, что люди корректируют свои установки в соответствии с мнением референтной группы на основании механизма обучения, реализуемого *салиентной сетью* головного мозга. Наши результаты продемонстрировали, что данная широкомасштабная сеть отслеживает нарушения дескриптивной нормы и генерирует ОПВ-подобный обучающий сигнал в ЗМЛ-коре и вентральном стриатуме. Мы также выдвинули гипотезу о том, что во время нормативного давления группы ОПВ-подобный обучающий сигнал, генерируемый *салиентной сетью*, модулируется с участием *сети по умолчанию* и *центральной исполнительной сети*, которые интегрируют обучающий сигнал в более широкие социальные и личные контексты, формируя финальную адаптацию к нормам референтной группы.

Литература

- Agam, Y., Hämäläinen, M. S., Lee, A. K. C., Dyckman, K. A., Friedman, J. S., Isom, M., Makris, N., & Manoach, D. S. (2011). Multimodal neuroimaging dissociates hemodynamic and electrophysiological correlates of error processing. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *108*(42), 17556–17561. <https://doi.org/10.1073/PNAS.1103475108/-/DCSUPPLEMENTAL>
- Ajzen, I., & Fishbein, M. (1980). *Understanding attitudes and predicting social behavior*. Prentice-Hall. <https://searchworks.stanford.edu/view/808504>
- Apps, M. A. J., & Ramnani, N. (2017). Contributions of the Medial Prefrontal Cortex to Social Influence in Economic Decision-Making. *Cerebral Cortex*, *27*(9), 4635–4648. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhx183>
- Asch, S. (1951). Effects of group pressure upon the modification and distortion of judgments. In H. Guetzkow (Ed.), *Groups, leadership and men; research in human relations* (pp. 177–190). Carnegie Press.
- Asch, S. (1955). Opinions and Social Pressure. *Scientific American*, *193*(5), 31–35. <https://doi.org/10.1038/scientificamerican1155-31>
- Baek, E. C., Scholz, C., O'Donnell, M. B., & Falk, E. B. (2017). The Value of Sharing Information: A Neural Account of Information Transmission. *Psychological Science*, *28*(7), 851–861. <https://doi.org/10.1177/0956797617695073>
- Baker, T. E., & Holroyd, C. B. (2011). Dissociated roles of the anterior cingulate cortex in reward and conflict processing as revealed by the feedback error-related negativity and N200. *Biological Psychology*, *87*(1), 25–34. <https://doi.org/10.1016/J.BIOPSYCHO.2011.01.010>
- Bechtereva, N.P., Shemyakina, N.V., Starchenko, M.G., Danko, S.G., Medvedev, S.V. (2005). Error detection mechanisms of the brain: background and prospects. *International Journal Psychophysiology*, *58*(2-3), 227-34. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2005.06.005>.

- Behrens, T. E. J., Hunt, L. T., & Rushworth, M. F. S. (2009). The Computation of Social Behavior. *Science*, *324*(5931), 1160–1164. <https://doi.org/10.1126/science.1169694>
- Beretti, A., Figuières, C., & Grolleau, G. (2013). Using Money to Motivate Both ‘Saints’ and ‘Sinners’: a Field Experiment on Motivational Crowding-Out. *Kyklos*, *66*(1), 63–77. <https://doi.org/10.1111/KYKL.12011>
- Berns, G. S., Capra, C. M., Moore, S., & Noussair, C. (2010a). Neural Mechanisms of the Influence of Popularity on Adolescent Ratings of Music. *NeuroImage*, *49*(3), 2687. <https://doi.org/10.1016/J.NEUROIMAGE.2009.10.070>
- Berns, G. S., Capra, C. M., Moore, S., & Noussair, C. (2010b). Neural mechanisms of the influence of popularity on adolescent ratings of music. *NeuroImage*, *49*(3), 2687–2696. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2009.10.070>
- Berns, G. S., Chappelow, J., Zink, C. F., Pagnoni, G., Martin-Skurski, M. E., & Richards, J. (2005). Neurobiological Correlates of Social Conformity and Independence During Mental Rotation. *Biological Psychiatry*, *58*(3), 245–253. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2005.04.012>
- Bodin, Ö. (2017). Collaborative environmental governance: Achieving collective action in social-ecological systems. *Science*, *357*(6352). https://doi.org/10.1126/SCIENCE.AAN1114/ASSET/DBFCD748-BF94-4CA9-8DF5-DDEA323453AA/ASSETS/GRAPHIC/357_AAN1114_F3.JPEG
- Bond, R., & Smith, P. B. (1996). Culture and conformity: A meta-analysis of studies using Asch’s (1952b, 1956) line judgment task. *Psychological Bulletin*, *119*(1), 111–137. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.119.1.111>
- Boorman, E. D., Behrens, T. E., & Rushworth, M. F. (2011). Counterfactual choice and learning in a Neural Network centered on human lateral frontopolar cortex. *PLoS Biology*, *9*(6). <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PBIO.1001093>
- Bressler, S. L., & Menon, V. (2010). Large-scale brain networks in cognition: emerging methods and principles. *Trends in Cognitive Sciences*, *14*(6), 277–290. <https://doi.org/10.1016/J.TICS.2010.04.004>

- Bryan, J. H., & Test, M. A. (1967). Models and helping: Naturalistic studies in aiding behavior. *Journal of Personality and Social Psychology*, 6(4, Pt.1), 400–407. <https://doi.org/10.1037/h0024826>
- Burkett, S. R. (1977). School Ties, Peer Influence, and Adolescent Marijuana Use. *Sociological Perspectives*, 20(2), 181–202. https://doi.org/10.2307/1388930/ASSET/1388930.FP.PNG_V03
- Byerly, H., Balmford, A., Ferraro, P. J., Hammond Wagner, C., Palchak, E., Polasky, S., Ricketts, T. H., Schwartz, A. J., & Fisher, B. (2018). Nudging pro-environmental behavior: evidence and opportunities. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 16(3), 159–168. <https://doi.org/10.1002/FEE.1777>
- Cabeza, R., Ciaramelli, E., Olson, I. R., & Moscovitch, M. (2008). Parietal Cortex and Episodic Memory: An Attentional Account. *Nature Reviews. Neuroscience*, 9(8), 613. <https://doi.org/10.1038/NRN2459>
- Cacioppo, J. T., Berntson, G. G., Sheridan, J. F., & McClintock, M. K. (2000). Multilevel integrative analyses of human behavior: social neuroscience and the complementing nature of social and biological approaches. *Psychological Bulletin*, 126(6), 829–843. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.126.6.829>
- Cacioppo, J. T., & Decety, J. (2011). Social neuroscience: challenges and opportunities in the study of complex behavior. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1224(1), 162–173. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2010.05858.x>
- Campbell-Meiklejohn, D. K., Bach, D. R., Roepstorff, A., Dolan, R. J., & Frith, C. D. (2010). How the Opinion of Others Affects Our Valuation of Objects. *Current Biology*, 20(13), 1165–1170. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2010.04.055>
- Campbell-Meiklejohn, D. K., Simonsen, A., Jensen, M., Wohlert, V., Gjerløff, T., Scheel-Kruger, J., Møller, A., Frith, C. D., & Roepstorff, A. (2012). Modulation of Social Influence by Methylphenidate. *Neuropsychopharmacology*, 37(6), 1517–1525. <https://doi.org/10.1038/npp.2011.337>
- Carelli, R. M. (2002). The Nucleus Accumbens and Reward: Neurophysiological

- Investigations in Behaving Animals. *Behavioral and Cognitive Neuroscience Reviews*, 1(4), 281–296. <https://doi.org/10.1177/1534582302238338>
- Cavanagh, J. F., Zambrano-Vazquez, L., & Allen, J. J. B. (2012). Theta lingua franca: A common mid-frontal substrate for action monitoring processes. *Psychophysiology*, 49(2), 220–238. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2011.01293.x>
- Centola, D., Becker, J., Brackbill, D., & Baronchelli, A. (2018). Experimental evidence for tipping points in social convention. *Science*, 360(6393), 1116–1119. https://doi.org/10.1126/SCIENCE.AAS8827/SUPPL_FILE/AAS8827_CENTOLA_SM.PDF
- Chen, B., Zhu, Z., Wang, Y., Ding, X., Guo, X., He, M., Fang, W., Zhou, Q., Zhou, S., Lei, H., Huang, A., Chen, T., Ni, D., Gu, Y., Liu, J., & Rao, Y. (2018). Nature vs. nurture in human sociality: multi-level genomic analyses of social conformity. *Journal of Human Genetics*, 63(5), 605–619. <https://doi.org/10.1038/s10038-018-0418-y>
- Chen, Wu, Y., Tong, G., Guan, X., & Zhou, X. (2012). ERP correlates of social conformity in a line judgment task. *BMC Neuroscience*, 13(1), 43. <https://doi.org/10.1186/1471-2202-13-43>
- Chua, H. F., Liberzon, I., Welsh, R. C., & Strecher, V. J. (2009). Neural Correlates of Message Tailoring and Self-Relatedness in Smoking Cessation Programming. *Biological Psychiatry*, 65(2), 165–168. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2008.08.030>
- Cialdini, R. B., & Goldstein, N. J. (2004). Social Influence: Compliance and Conformity. *Annual Review of Psychology*, 55(1), 591–621. <https://doi.org/10.1146/annurev.psych.55.090902.142015>
- Cialdini, R. B., Reno, R. R., & Kallgren, C. A. (1990). A Focus Theory of Normative Conduct: Recycling the Concept of Norms to Reduce Littering in Public Places. *Journal of Personality and Social Psychology*, 58(6), 1015–1026. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.58.6.1015>

- Cohen, M., & Ranganath, C. (2007). Reinforcement Learning Signals Predict Future Decisions. *Journal of Neuroscience*, 27(2), 371–378. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.4421-06.2007>
- Compton, R. J., Banich, M. T., Mohanty, A., Milham, M. P., Herrington, J., Miller, G. A., Scalf, P. E., Webb, A., & Heller, W. (2003). Paying attention to emotion: an fMRI investigation of cognitive and emotional stroop tasks. *Cognitive, Affective & Behavioral Neuroscience*, 3(2), 81–96. <https://doi.org/10.3758/cabn.3.2.81>
- Corbetta, M., & Shulman, G. L. (2002). Control of goal-directed and stimulus-driven attention in the brain. *Nature Reviews. Neuroscience*, 3(3), 201–215. <https://doi.org/10.1038/NRN755>
- Crutchfield, R. S. (1955). Conformity and character. *American Psychologist*, 10(5), 191–198. <https://doi.org/10.1037/h0040237>
- Danchin, E., Nöbel, S., Pocheville, A., Dagaëff, A.-C., Demay, L., Alphan, M., Ranty-Roby, S., van Renssen, L., Monier, M., Gazagne, E., Allain, M., & Isabel, G. (2018). Cultural flies: Conformist social learning in fruitflies predicts long-lasting mate-choice traditions. *Science (New York, N.Y.)*, 362(6418), 1025–1030. <https://doi.org/10.1126/science.aat1590>
- Dawkins, R. (1989). *The selfish gene*. Oxford University Press. <http://www.gurteen.com/gurteen/gurteen.nsf/id/X0001E4CE/>
- Day, R. L., MacDonald, T., Brown, C., Laland, K. N., & Reader, S. M. (2001). Interactions between shoal size and conformity in guppy social foraging. *Animal Behaviour*, 62(5), 917–925. <https://doi.org/10.1006/ANBE.2001.1820>
- Diedrichsen, J., Hashambhoy, Y., Rane, T., & Shadmehr, R. (2005). Neural correlates of reach errors. *Journal of Neuroscience*, 25(43), 9919–9931. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1874-05.2005>
- Dietvorst, R. C., Verbeke, W. J. M. I., Bagozzi, R. P., Yoon, C., Smits, M., & Lugt, A. van der. (2009). A Sales Force—Specific Theory-of-Mind Scale: Tests of Its Validity by Classical Methods and Functional Magnetic Resonance Imaging. In *Journal of*

- Marketing Research* (Vol. 46, pp. 653–668). Sage Publications, Inc.
<https://doi.org/10.2307/20618926>
- Dindo, M., Whiten, A., & de Waal, F. B. M. (2009). In-group conformity sustains different foraging traditions in capuchin monkeys (*Cebus apella*). *PloS One*, *4*(11), e7858. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0007858>
- Doñamayor, N., Heilbronner, U., & Münte, T. F. (2012). Coupling electrophysiological and hemodynamic responses to errors. *Human Brain Mapping*, *33*(7), 1621. <https://doi.org/10.1002/HBM.21305>
- Doñamayor, N., Marco-Pallarés, J., Heldmann, M., Schoenfeld, M. A., & Münte, T. F. (2011). Temporal dynamics of reward processing revealed by magnetoencephalography. *Human Brain Mapping*, *32*(12), 2228. <https://doi.org/10.1002/HBM.21184>
- Doñamayor, N., Schoenfeld, M. A., & Münte, T. F. (2012). Magneto- and electroencephalographic manifestations of reward anticipation and delivery. *NeuroImage*, *62*(1), 17–29. <https://doi.org/10.1016/J.NEUROIMAGE.2012.04.038>
- Dunning, J. P., & Hajcak, G. (2008). *See no evil: Directing visual attention within unpleasant images modulates the electrocortical response*. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2008.00723.x>
- Edelson, M., Sharot, T., Dolan, R. J., & Dudai, Y. (2011). Following the crowd: brain substrates of long-term memory conformity. *Science (New York, N.Y.)*, *333*(6038), 108–111. <https://doi.org/10.1126/science.1203557>
- Elliott, R., Agnew, Z., & Deakin, J. F. W. (2010). Hedonic and informational functions of the human orbitofrontal cortex. *Cerebral Cortex (New York, N.Y. : 1991)*, *20*(1), 198–204. <https://doi.org/10.1093/CERCOR/BHP092>
- Falk, E. B., Berkman, E. T., Mann, T., Harrison, B., & Lieberman, M. D. (2010). Predicting Persuasion-Induced Behavior Change from the Brain. *Journal of Neuroscience*, *30*(25), 8421–8424. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.0063-10.2010>

- Falk, E., & Scholz, C. (2018). Persuasion, Influence, and Value: Perspectives from Communication and Social Neuroscience. *Annual Review of Psychology*, 69(1), 329–356. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-122216-011821>
- Falk, Emily B., Morelli, S. A., Welborn, B. L., Dambacher, K., & Lieberman, M. D. (2013). Creating Buzz. *Psychological Science*, 24(7), 1234–1242. <https://doi.org/10.1177/0956797612474670>
- Falk, Emily B., O'Donnell, M. B., & Lieberman, M. D. (2012). Getting the word out: neural correlates of enthusiastic message propagation. *Frontiers in Human Neuroscience*, 6, 313. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2012.00313>
- Fehr, E., & Fischbacher, U. (2004). Social norms and human cooperation. *Trends in Cognitive Sciences*, 8(4), 185–190. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2004.02.007>
- Fields, H. L., Hjelmstad, G. O., Margolis, E. B., & Nicola, S. M. (2007). Ventral Tegmental Area Neurons in Learned Appetitive Behavior and Positive Reinforcement. *Annual Review of Neuroscience*, 30(1), 289–316. <https://doi.org/10.1146/annurev.neuro.30.051606.094341>
- Foster, K., & Ratnieks, F. (2005). A new eusocial vertebrate? *Trends in Ecology & Evolution*, 20(7), 363–364. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2005.05.005>
- Friedman, D., Magnani, J., Paranjpe, D., Sinervo, B. (2017). Evolutionary games, climate and the generation of diversity. *PLoS ONE* 12(8): e0184052. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0184052>
- Galef, B. G., & Whiskin, E. E. (2008). ‘Conformity’ in Norway rats? *Animal Behaviour*, 75(6), 2035–2039. <https://doi.org/10.1016/J.ANBEHAV.2007.11.012>
- Ganor-Stern, D., Glikzman, Y., Naparstek, S., Ifergane, G., & Henik, A. (2020). Damage to the Intraparietal Sulcus Impairs Magnitude Representations of Results of Complex Arithmetic Problems. *Neuroscience*, 438, 137–144. <https://doi.org/10.1016/J.NEUROSCIENCE.2020.05.006>
- Germar, M., Albrecht, T., Voss, A., & Mojzisch, A. (2016). Social conformity is due to biased stimulus processing: electrophysiological and diffusion analyses. *Social*

Cognitive and Affective Neuroscience, 11(9), 1449–1459.
<https://doi.org/10.1093/scan/nsw050>

- Germar, M., Schlemmer, A., Krug, K., Voss, A., & Mojzisch, A. (2014). Social Influence and Perceptual Decision Making. *Personality and Social Psychology Bulletin*, 40(2), 217–231. <https://doi.org/10.1177/0146167213508985>
- Goldstein, N. J., Cialdini, R. B., & Griskevicius, V. (2008). A room with a viewpoint: Using social norms to motivate environmental conservation in hotels. *Journal of Consumer Research*, 35(3), 472–482. <https://doi.org/10.1086/586910>
- Gorin, A., Klucharev, V., Ossadtchi, A., Zubarev, I., Moiseeva, V., & Shestakova, A. (2021). MEG signatures of long-term effects of agreement and disagreement with the majority. *Scientific Reports*, 11(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-82670-x>
- Groenewegen, H. J., Room, P., Witter, M. P., & Lohman, A. H. M. (1982). Cortical afferents of the nucleus accumbens in the cat, studied with anterograde and retrograde transport techniques. *Neuroscience*, 7(4), 977–996. [https://doi.org/10.1016/0306-4522\(82\)90055-0](https://doi.org/10.1016/0306-4522(82)90055-0)
- Gross, J., Baillet, S., Barnes, G. R., Henson, R. N., Hillebrand, A., Jensen, O., Jerbi, K., Litvak, V., Maess, B., Oostenveld, R., Parkkonen, L., Taylor, J. R., van Wassenhove, V., Wibral, M., & Schoffelen, J. M. (2013). Good practice for conducting and reporting MEG research. *NeuroImage*, 65, 349–363. <https://doi.org/10.1016/J.NEUROIMAGE.2012.10.001>
- Halgren, E., Raij, T., Marinkovic, K., Jousmäki, V., & Hari, R. (2000). Cognitive Response Profile of the Human Fusiform Face Area as Determined by MEG. *Cerebral Cortex*, 10(1), 69–81. <https://doi.org/10.1093/CERCOR/10.1.69>
- Hämäläinen, M. S., & Ilmoniemi, R. J. (1994). Interpreting magnetic fields of the brain: minimum norm estimates. *Medical & Biological Engineering & Computing*, 32(1), 35–42. <https://doi.org/10.1007/BF02512476>
- Hauber, W., & Sommer, S. (2009). Prefrontostriatal circuitry regulates effort-related decision making. *Cerebral Cortex (New York, N.Y. : 1991)*, 19(10), 2240–2247.

<https://doi.org/10.1093/cercor/bhn241>

- Haun, D. B. M., Rekers, Y., & Tomasello, M. (2012). Majority-Biased Transmission in Chimpanzees and Human Children, but Not Orangutans. *Current Biology*, 22(8), 727–731. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2012.03.006>
- Haun, D. B. M., Rekers, Y., & Tomasello, M. (2014). Children Conform to the Behavior of Peers; Other Great Apes Stick With What They Know. *Psychological Science*, 25(12), 2160–2167. <https://doi.org/10.1177/0956797614553235>
- Heyes, C. (2012). What's social about social learning? *Journal of Comparative Psychology*, 126(2), 193–202. <https://doi.org/10.1037/a0025180>
- Hickey, C., Chelazzi, L., & Theeuwes, J. (2010). Reward Changes Salience in Human Vision via the Anterior Cingulate. *Journal of Neuroscience*, 30(33), 11096–11103. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1026-10.2010>
- Holroyd, C. B., & Coles, M. G. H. (2002). The neural basis of human error processing: Reinforcement learning, dopamine, and the error-related negativity. *Psychological Review*, 109(4), 679–709. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.109.4.679>
- Holroyd, C. B., Krigolson, O. E., Baker, R., Lee, S., & Gibson, J. (2009). When is an error not a prediction error? An electrophysiological investigation. *Cognitive, Affective & Behavioral Neuroscience*, 9(1), 59–70. <https://doi.org/10.3758/CABN.9.1.59>
- Huang, Y. Z., Edwards, M. J., Rounis, E., Bhatia, K. P., & Rothwell, J. C. (2005). Theta Burst Stimulation of the Human Motor Cortex. *Neuron*, 45(2), 201–206. <https://doi.org/10.1016/J.NEURON.2004.12.033>
- Huber, R. E., Klucharev, V., & Rieskamp, J. (2013). Neural correlates of informational cascades: Brain mechanisms of social influence on belief updating. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 10(4). <https://doi.org/10.1093/scan/nsu090>
- Hutchinson, J. B., Uncapher, M. R., Weiner, K. S., Bressler, D. W., Silver, M. A., Preston, A. R., & Wagner, A. D. (2014). Functional heterogeneity in posterior parietal cortex across attention and episodic memory retrieval. *Cerebral Cortex (New York, N.Y. :*

- 1991), 24(1), 49–66. <https://doi.org/10.1093/CERCOR/BHS278>
- Izuma, K. (2013). The neural basis of social influence and attitude change. *Current Opinion in Neurobiology*, 23(3), 456–462. <https://doi.org/10.1016/J.CONB.2013.03.009>
- Izuma, K., & Adolphs, R. (2013). Social Manipulation of Preference in the Human Brain. *Neuron*, 78(3), 563–573. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2013.03.023>
- Johnston, K. L., & White, K. M. (2003). Binge-drinking: A test of the role of group norms in the theory of planned behaviour. *Psychology and Health*, 18(1), 63–77. <https://doi.org/10.1080/0887044021000037835>
- Kallgren, C. A., Reno, R. R., & Cialdini, R. B. (2000). A focus theory of normative conduct: When norms do and do not affect behavior. *Personality and Social Psychology Bulletin*, 26(8), 1002–1012. <https://doi.org/10.1177/01461672002610009>
- Kesebir, S. (2012). The Superorganism Account of Human Sociality. *Personality and Social Psychology Review*, 16(3), 233–261. <https://doi.org/10.1177/1088868311430834>
- Kim, B.-R., Liss, A., Rao, M., Singer, Z., & Compton, R. J. (2012). Social deviance activates the brain’s error-monitoring system. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 12(1), 65–73. <https://doi.org/10.3758/s13415-011-0067-5>
- Klucharev, V., Hytönen, K., Rijpkema, M., Smidts, A., & Fernández, G. (2009). Reinforcement Learning Signal Predicts Social Conformity. *Neuron*, 61(1). <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2008.11.027>
- Klucharev, V., Munneke, M. A. M., Smidts, A., & Fernández, G. (2011). Downregulation of the posterior medial frontal cortex prevents social conformity. *Journal of Neuroscience*, 31(33). <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1869-11.2011>
- Klucharev, V., Smidts, A., & Fernández, G. (2008). Brain mechanisms of persuasion: How “expert power” modulates memory and attitudes. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 3(4). <https://doi.org/10.1093/scan/nsn022>

- Klucharev, V., Zubarev, I., & Shestakova, A. (2014). Neurobiological mechanisms of social influence (Нейробиологические механизмы социального влияния). *Experimental Psychology*, 7(4), 20–36.
- Knudsen, E. B., & Wallis, J. D. (2022). Taking stock of value in the orbitofrontal cortex. *Nature Reviews Neuroscience* 2022 23:7, 23(7), 428–438. <https://doi.org/10.1038/s41583-022-00589-2>
- Knutson, B., & Wimmer, G. E. (2007). Splitting the difference: how does the brain code reward episodes? *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1104(1), 54–69. <https://doi.org/10.1196/annals.1390.020>
- Konopasky, R. J., & Telegdy, G. A. (1977). Conformity in the Rat: A Leader's Selection of Door Color versus a Learned Door-Color Discrimination. *Perceptual and Motor Skills*, 44(1), 31–37. <https://doi.org/10.2466/pms.1977.44.1.31>
- Krueger, F., & Hoffman, M. (2016). The Emerging Neuroscience of Third-Party Punishment. *Trends in Neurosciences*, 39(8), 499–501. <https://doi.org/10.1016/J.TINS.2016.06.004>
- Krugliakova, E., Gorin, A., Fedele, T., Shtyrov, Y., Moiseeva, V., Klucharev, V., & Shestakova, A. (2019). The Monetary Incentive Delay (MID) Task Induces Changes in Sensory Processing: ERP Evidence. *Frontiers in Human Neuroscience*, 13, 382. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2019.00382>
- Levorsen, M., Ito, A., Suzuki, S., & Izuma, K. (2021). Testing the reinforcement learning hypothesis of social conformity. *Human Brain Mapping*, 42(5), 1328–1342. <https://doi.org/10.1002/HBM.25296>
- Liao, Y., Gramann, K., Feng, W., Deák, G. O., & Li, H. (2011). This ought to be good: brain activity accompanying positive and negative expectations and outcomes. *Psychophysiology*, 48(10), 1412–1419. <https://doi.org/10.1111/J.1469-8986.2011.01205.X>
- Lin, L. C., Qu, Y., & Telzer, E. H. (2018). Intergroup social influence on emotion processing in the brain. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(42),

10630–10635. <https://doi.org/10.1073/pnas.1802111115>

- Lohrenz, T., McCabe, K., Camerer, C. F., & Montague, P. R. (2007). Neural signature of fictive learning signals in a sequential investment task. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *104*(22), 9493–9498. https://doi.org/10.1073/PNAS.0608842104/SUPPL_FILE/IMAGE916.GIF
- Louis, W., Davies, S., Smith, J., & Terry, D. (2007). Pizza and Pop and the Student Identity: The Role of Referent Group Norms in Healthy and Unhealthy Eating. *The Journal of Social Psychology*, *147*(1), 57–74. <https://doi.org/10.3200/SOCP.147.1.57-74>
- Manning, M. (2009). The effects of subjective norms on behaviour in the theory of planned behaviour: a meta-analysis. *The British Journal of Social Psychology*, *48*(Pt 4), 649–705. <https://doi.org/10.1348/014466608X393136>
- Matsumoto, M., Matsumoto, K., Abe, H., & Tanaka, K. (2007). Medial prefrontal cell activity signaling prediction errors of action values. *Nature Neuroscience*, *10*(5), 647–656. <https://doi.org/10.1038/nn1890>
- Mende-Siedlecki, P., Baron, S. G., & Todorov, A. (2013). Diagnostic Value Underlies Asymmetric Updating of Impressions in the Morality and Ability Domains. *Journal of Neuroscience*, *33*(50), 19406–19415. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2334-13.2013>
- Menon, V. (2015). Salience Network. *Brain Mapping: An Encyclopedic Reference*, *2*, 597–611. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-397025-1.00052-X>
- Miltner, W. H. R., Braun, C. H., & Coles, M. G. H. (1997). Event-Related Brain Potentials Following Incorrect Feedback in a Time-Estimation Task: Evidence for a “Generic” Neural System for Error Detection. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *9*(6), 788–798. <https://doi.org/10.1162/jocn.1997.9.6.788>
- Montague, P. R., & Lohrenz, T. (2007). To Detect and Correct: Norm Violations and Their Enforcement. *Neuron*, *56*(1), 14–18. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2007.09.020>

- Mulligan, E. M., & Hajcak, G. (2018). The electrocortical response to rewarding and aversive feedback: The reward positivity does not reflect salience in simple gambling tasks. *International Journal of Psychophysiology*, *132*, 262–267. <https://doi.org/10.1016/J.IJPSYCHO.2017.11.015>
- Nadig, K. G., Jäncke, L., Lüchinger, R., & Lutz, K. (2010). Motor and non-motor error and the influence of error magnitude on brain activity. *Experimental Brain Research*, *202*(1), 45–54. <https://doi.org/10.1007/S00221-009-2108-7>
- Nieder, A., & Dehaene, S. (2009). Representation of number in the brain. *Annual Review of Neuroscience*, *32*, 185–208. <https://doi.org/10.1146/ANNUREV.NEURO.051508.135550>
- Nook, E. C., & Zaki, J. (2015). Social Norms Shift Behavioral and Neural Responses to Foods. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *27*(7), 1412–1426. https://doi.org/10.1162/jocn_a_00795
- Nyborg, K., Anderies, J. M., Dannenberg, A., Lindahl, T., Schill, C., Schlüter, M., Adger, W. N., Arrow, K. J., Barrett, S., Carpenter, S., Chapin, F. S., Crépin, A. S., Daily, G., Ehrlich, P., Folke, C., Jager, W., Kautsky, N., Levin, S. A., Madsen, O. J., ... De Zeeuw, A. (2016). Social norms as solutions. *Science*, *354*(6308), 42–43. https://doi.org/10.1126/SCIENCE.AAF8317/SUPPL_FILE/NYBORGSM.PDF
- O’Doherty, J. P. (2004). Reward representations and reward-related learning in the human brain: insights from neuroimaging. *Current Opinion in Neurobiology*, *14*(6), 769–776. <https://doi.org/10.1016/J.CONB.2004.10.016>
- O’Keefe, D. J. (2002). *Persuasion: theory & research*. Sage Publications. https://books.google.ru/books/about/Persuasion.html?id=e3V6Zen0UGwC&redir_esc=y
- Oldham, S., Murawski, C., Fornito, A., Youssef, G., Yücel, M., & Lorenzetti, V. (2018). The anticipation and outcome phases of reward and loss processing: A neuroimaging meta-analysis of the monetary incentive delay task. *Human Brain Mapping*, *39*(8), 3398. <https://doi.org/10.1002/HBM.24184>

- Otto, I. M., Donges, J. F., Cremades, R., Bhowmik, A., Hewitt, R. J., Lucht, W., Rockström, J., Allerberger, F., McCaffrey, M., Doe, S. S. P., Lenferna, A., Morán, N., van Vuuren, D. P., & Schellnhuber, H. J. (2020). Social tipping dynamics for stabilizing Earth's climate by 2050. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *117*(5), 2354–2365. <https://doi.org/10.1073/PNAS.1900577117>
- Padoa-Schioppa, C., & Assad, J. A. (2006). *Neurons in the orbitofrontal cortex encode economic value*. <https://doi.org/10.1038/nature04676>
- Parkinson, J. A., Willoughby, P. J., Robbins, T. W., & Everitt, B. J. (2000). Disconnection of the anterior cingulate cortex and nucleus accumbens core impairs Pavlovian approach behavior: further evidence for limbic cortical-ventral striatopallidal systems. *Behavioral Neuroscience*, *114*(1), 42–63. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10718261>
- Pike, T. W., & Laland, K. N. (2010). Conformist learning in nine-spined sticklebacks' foraging decisions. *Biology Letters*, *6*(4), 466–468. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2009.1014>
- Reno, R. R., Cialdini, R. B., & Kallgren, C. A. (1993). The Transsituational Influence of Social Norms. *Journal of Personality and Social Psychology*, *64*(1), 104–112. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.64.1.104>
- Rescorla, R. A., & Wagner, A. R. (1972). A theory of Pavlovian conditioning: Variations in the effectiveness of reinforcement and nonreinforcement. In *Classical Conditioning II: Current Research and Theory* (Eds Black AH, Prokasy WF) New York: Appleton Century Crofts (pp. 64–99).
- Richard Ridderinkhof, K., Ullsperger, M., Crone, E. A., & Nieuwenhuis, S. (2003). Empirical and Theoretical Perspectives on Animal Cognition. *14. R. Gelman, B. Butterworth, Trends Cognit. Sci*, *306*, 59. www.sciencemag.org
- Rivis, A., & Sheeran, P. (2003). Descriptive norms as an additional predictor in the theory of planned behaviour: A meta-analysis. *Current Psychology*, *22*(3), 218–233.

<https://doi.org/10.1007/S12144-003-1018-2>

- Rolls, E. T., Cheng, W., & Feng, J. (2020). The orbitofrontal cortex: reward, emotion and depression. *Brain Communications*, 2(2). <https://doi.org/10.1093/BRAINCOMMS/FCAA196>
- Roy, M., Shohamy, D., & Wager, T. D. (2012). Ventromedial prefrontal-subcortical systems and the generation of affective meaning. *Trends in Cognitive Sciences*, 16(3), 147–156. <https://doi.org/10.1016/J.TICS.2012.01.005>
- Rushworth, M. F. S., Behrens, T. E. J., Rudebeck, P. H., & Walton, M. E. (2007). Contrasting roles for cingulate and orbitofrontal cortex in decisions and social behaviour. *Trends in Cognitive Sciences*, 11(4), 168–176. <https://doi.org/10.1016/J.TICS.2007.01.004>
- Sambrook, T. D., & Goslin, J. (2015). A Neural reward prediction error revealed by a meta-analysis of ERPs using great grand averages. *Psychological Bulletin*, 141(1), 213–235. <https://doi.org/10.1037/BUL0000006>
- Schnuerch, R., Koppehele-Gossel, J., & Gibbons, H. (2015). Weak encoding of faces predicts socially influenced judgments of facial attractiveness. *Social Neuroscience*, 10(6), 624–634. <https://doi.org/10.1080/17470919.2015.1017113>
- Schnuerch, R., Richter, J., Koppehele-Gossel, J., & Gibbons, H. (2016). Multiple neural signatures of social proof and deviance during the observation of other people's preferences. *Psychophysiology*, 53(6), 823–836. <https://doi.org/10.1111/psyp.12636>
- Schnuerch, R., Schnuerch, M., & Gibbons, H. (2015). Assessing and correcting for regression toward the mean in deviance-induced social conformity. *Frontiers in Psychology*, 06, 669. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.00669>
- Schoffield, P. E., Pattison, P. E., Hill, D. J., Borland, R., John, D., & Ron, H. &. (2001). The influence of group identification on the adoption of peer group smoking norms. *Psychology and Health*, 16(1), 1–16. <https://doi.org/10.1080/08870440108405486>
- Scholz, C., Baek, E. C., O'Donnell, M. B., Kim, H. S., Cappella, J. N., & Falk, E. B. (2017). A neural model of valuation and information virality. *Proceedings of the*

- National Academy of Sciences*, 114(11), 2881–2886.
<https://doi.org/10.1073/pnas.1615259114>
- Schultz, P. W., Nolan, J. M., Cialdini, R. B., Goldstein, N. J., & Griskevicius, V. (2007). *The Constructive, Destructive, and Reconstructive Power of Social Norms*.
- Schultz, W., Dayan, P., & Montague, P. R. (1997). A neural substrate of prediction and reward. *Science*, 275(5306), 1593–1599.
<https://doi.org/10.1126/science.275.5306.1593>
- Schultz, Wolfram. (2006). Behavioral theories and the neurophysiology of reward. *Annual Review of Psychology*, 57(1), 87–115.
<https://doi.org/10.1146/annurev.psych.56.091103.070229>
- Shestakova, A., Rieskamp, J., Tugin, S., Ossadtchi, A., Krutitskaya, J., & Klucharev, V. (2013). Electrophysiological precursors of social conformity. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 8(7). <https://doi.org/10.1093/scan/nss064>
- Smith, J. M., & Price, G. R. (1973). *The logic of Animal CONflict*.
- Smith, J. R., & Louis, W. R. (2009). Teaching and Learning Guide for: Group Norms and the Attitude–Behaviour Relationship. *Social and Personality Psychology Compass*, 3(5), 850–854. <https://doi.org/10.1111/J.1751-9004.2009.00200.X>
- Spitzer, M., Fischbacher, U., Herrnberger, B., Grön, G., & Fehr, E. (2007). The neural signature of social norm compliance. *Neuron*, 56(1), 185–196.
<https://doi.org/10.1016/J.NEURON.2007.09.011>
- Stallen, M., Smidts, A., Rijpkema, M., Smit, G., Klucharev, V., & Fernández, G. (2010). Celebrities and shoes on the female brain: The neural correlates of product evaluation in the context of fame. *Journal of Economic Psychology*, 31(5).
<https://doi.org/10.1016/j.joep.2010.03.006>
- Sun, S., & Yu, R. (2016). Social conformity persists at least one day in 6-year-old children. *Scientific Reports*, 6, 39588. <https://doi.org/10.1038/srep39588>
- Sutton, R., & Barto, A. (1998). *Reinforcement Learning: An Introduction (Adaptive*

Computation and Machine Learning) (*Adaptive Computation and Machine Learning series*): Sutton, Richard S., Barto, Andrew G.: 9780262193986: Amazon.com: Books. MIT press.

- Talmi, D., Fuentemilla, L., Litvak, V., Duzel, E., & Dolan, R. J. (2012). An MEG signature corresponding to an axiomatic model of reward prediction error. *Neuroimage*, *59*(1), 635. <https://doi.org/10.1016/J.NEUROIMAGE.2011.06.051>
- Tamir, D. I., Zaki, J., & Mitchell, J. P. (2015). Informing others is associated with behavioral and neural signatures of value. *Journal of Experimental Psychology: General*, *144*(6), 1114–1123. <https://doi.org/10.1037/xge0000122>
- Toelch, U., Pooresmaeili, A., & Dolan, R. J. (2018). Neural substrates of norm compliance in perceptual decisions. *Scientific Reports 2018 8:1*, *8*(1), 1–9. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-21583-8>
- Toelch, Ulf, Panizza, F., & Heekeren, H. R. (2018). Norm compliance affects perceptual decisions through modulation of a starting point bias. *Royal Society Open Science*, *5*(3), 171268. <https://doi.org/10.1098/rsos.171268>
- Trautmann-Lengsfeld, S. A., & Herrmann, C. S. (2013). EEG reveals an early influence of social conformity on visual processing in group pressure situations. *Social Neuroscience*, *8*(1), 75–89. <https://doi.org/10.1080/17470919.2012.742927>
- Trautmann-Lengsfeld, S. A., & Herrmann, C. S. (2014). Virtually simulated social pressure influences early visual processing more in low compared to high autonomous participants. *Psychophysiology*, *51*(2), 124–135. <https://doi.org/10.1111/psyp.12161>
- Walsh, M. M., & Anderson, J. R. (2012). Learning from experience: event-related potential correlates of reward processing, neural adaptation, and behavioral choice. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, *36*(8), 1870–1884. <https://doi.org/10.1016/J.NEUBIOREV.2012.05.008>
- Wei, Z., Zhao, Z., & Zheng, Y. (2013). Neural mechanisms underlying social conformity in an ultimatum game. *Frontiers in Human Neuroscience*, *7*, 896.

<https://doi.org/10.3389/fnhum.2013.00896>

- Welborn, B. L., Lieberman, M. D., Goldenberg, D., Fuligni, A. J., Galván, A., & Telzer, E. H. (2016). Neural mechanisms of social influence in adolescence. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, *11*(1), 100–109. <https://doi.org/10.1093/scan/nsv095>
- White, K. M., & Hyde, M. K. (2012). The Role of Self-Perceptions in the Prediction of Household Recycling Behavior in Australia. *Environment and Behavior*, *44*(6), 785–799.
https://doi.org/10.1177/0013916511408069/ASSET/IMAGES/LARGE/10.1177_0013916511408069-FIG1.JPEG
- Whiten, A., Horner, V., & de Waal, F. B. M. (2005). Conformity to cultural norms of tool use in chimpanzees. *Nature*, *437*(7059), 737–740.
<https://doi.org/10.1038/nature04047>
- Wilson, D. S., & Wilson, E. O. (2007). Rethinking the Theoretical Foundation of Sociobiology. *The Quarterly Review of Biology*, *82*(4), 327–348.
<https://doi.org/10.1086/522809>
- Wilson, E., & Wilson, D. (2008). Evolution “for the Good of the Group.” *American Scientist*, *96*(5), 380. <https://doi.org/10.1511/2008.74.380>
- Wu, H., Luo, Y., & Feng, C. (2016). Neural signatures of social conformity: A coordinate-based activation likelihood estimation meta-analysis of functional brain imaging studies. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, *71*, 101–111.
<https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2016.08.038>
- Zaki, J., Schirmer, J., & Mitchell, J. P. (2011). Social influence modulates the neural computation of value. *Psychological Science*, *22*(7), 894–900.
<https://doi.org/10.1177/0956797611411057>
- Zinchenko, O., & Klucharev, V. (2017). Commentary: The Emerging Neuroscience of Third-Party Punishment. *Frontiers in Human Neuroscience*, *11*.
<https://doi.org/10.3389/FNHUM.2017.00512>
- Zink, C. F., Tong, Y., Chen, Q., Bassett, D. S., Stein, J. L., & Meyer-Lindenberg, A.

(2008). Know Your Place: Neural Processing of Social Hierarchy in Humans. *Neuron*, 58(2), 273. <https://doi.org/10.1016/J.NEURON.2008.01.025>

Zubarev, I., Klucharev, V., Ossadtchi, A., Moiseeva, V., & Shestakova, A. (2017). MEG signatures of a perceived match or mismatch between individual and group opinions. *Frontiers in Neuroscience*, 11(JAN). <https://doi.org/10.3389/fnins.2017.00010>

Глоссарий и список сокращений

ВМПФК — вентромедиальная префронтальная кора

ВП — вызванный потенциал или потенциал, связанный с событиями

ВТО — вентральная тегментальная область

ВТУ — височно-теменной узел

ДЛПФК — дорсолатральная префронтальная кора

ДМЛК — дорсомедиальная лобная кора

ЗМЛ-кора — задняя медиальная лобная кора, область, которая охватывает заднюю часть передней поясной коры и дополнительную моторную область.

ЗПК — задняя поясная кора

ЗТК — задняя теменная кора.

МЭГ — магнитоэнцефалография

НСО — негативность, связанная с обратной связью

ОПВ — ошибка предсказания вознаграждения, гипотетический сигнал обучения в теории обучения с подкреплением

фМРТ — функциональная магнитно-резонансная томография

ЭЭГ — электроэнцефалография