

■ обзор литературы ■

Интенциональное связывание как неявный показатель чувства агентности

Артём Сергеевич Яшин

Лаборатория нейрокогнитивных технологий НИЦ «Курчатовский институт», Москва, Россия;
Философский факультет МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

Игнат Анатольевич Дубынин

МЭГ-центр МГППУ, Москва, Россия

Аннотация. Интенциональным связыванием (ИС) называют эффект субъективного сближения во времени действия и результата этого действия. Данный эффект часто рассматривают как неявный показатель чувства агентности — осведомленности человека о его собственных действиях. В обзоре мы анализируем различные исследования ИС, проверяющие наличие корреляции между эффектом и чувством агентности. Мы учитываем некоторые важные различия между экспериментальными методиками — например, разные способы измерения ИС. В обзоре рассматривается возникновение ИС при выполнении совместных действий, а также влияние на эффект таких факторов, как задержка между действием и сигналом, модальность сигнала, валентность результата действия и т.д. Мы приходим к выводу, что ИС по-разному проявляет себя в зависимости от способа измерения, то есть его единство как эффекта вызывает сомнения. На ИС оказывают влияние как низкоуровневые, так и высокоуровневые процессы, которые взаимодействуют между собой и в разной степени модулируют силу эффекта. По-видимому, эффект отражает не только наличие чувства агентности, но и предсказуемость событий в эксперименте, а также возникновение репрезентации движения у испытуемого. При этом источником неоднозначностей в исследованиях служит большая разница в представлениях авторов работ о чувстве агентности, что отражается на интерпретации результатов. В конце обзора мы формулируем рекомендации для проведения экспериментов по изучению эффекта, призванные учесть методические недочеты существующих исследований. Также мы указываем на наиболее перспективные направления в исследованиях ИС и предьявляем концептуальные трудности, с которыми сталкиваются интерпретации экспериментальных результатов.

Контактная информация: Артем Сергеевич Яшин, teridacs@yandex.ru; 123182, Россия, Москва, пл. Академика Курчатова, д. 1; Игнат Анатольевич Дубынин, ignd@gmail.com.

Ключевые слова: интенциональное связывание, чувство агентности, корреляты чувства агентности, восприятие времени, субъективные оценки времени, психофизика

© 2021 Артем Сергеевич Яшин, Игнат Анатольевич Дубынин. Данная статья доступна по лицензии [Creative Commons "Attribution" \(«Атрибуция»\) 4.0. всемирная](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), согласно которой возможно неограниченное распространение и воспроизведение этой статьи на любых носителях при условии указания автора и ссылки на исходную публикацию статьи в данном журнале в соответствии с канонами научного цитирования.

Благодарности. Работа выполнена при поддержке НИЦ «Курчатовский институт» (приказ от 28.10.2021 № 2752). С благодарностью отмечаю участие С. Л. Шишкина и Е. В. Печенковой в улучшении качества статьи.

Статья поступила в редакцию 10 апреля 2021 г. Принята в печать 22 декабря 2021 г.

Введение

Данный обзор посвящен экспериментальным исследованиям интенционального связывания (ИС, «intentional binding», IB) — эффекта, открытого Хаггардом и коллегами в 2002 году (Haggard et al., 2002b). Этот эффект проявляется в субъективном сближении во времени движения и следующего за ним сигнала, который может быть воспринят агентом как результат движения. Дальнейшие исследования подтвердили, что ИС в основном сопровождает произвольные движения человека и отсутствует при непроизвольных движениях и в контрольных условиях. Обычно произвольные движения в подобных экспериментах предполагают совершение простого движения (например, нажатие на кнопку) в любой выбранный испытуемым момент времени в течение некоторого интервала. Либет и коллеги (Libet et al., 1983) использовали в своей работе схожее понятие произвольного движения. Непроизвольные движения в обсуждаемых работах реализованы с помощью ТМС или механического нажатия пальцем испытуемого на клавишу в случайный момент времени.

Вероятно, ИС является неявным показателем чувства агентности — особой осведомленности («awareness») субъекта о его собственных действиях. Основная задача предшествующих обзоров исследований эффекта (Hughes et al., 2013; Moore, Obhi, 2012; Tanaka et al., 2019) заключалась в анализе отношения между ИС и чувством агентности. Настоящий обзор продолжает этот анализ, рассматривая связывание не как единый устойчивый эффект, а как множество похожих проявлений сближения действия и следующего за ним сигнала. Мы проводим разбор существующих экспериментальных методик измерения ИС и прослеживаем их связь с результатами исследований. По результатам этого разбора формулируются соображения, которые позволят в будущем проводить более корректные и информативные исследования эффекта. Также будут описаны наиболее перспективные направления исследований и концептуальные трудности, с которыми сталкивается изучение и применение ИС.

В первом разделе обзора речь пойдет о чувстве агентности, виде осведомленности субъекта, показателем которой предположительно является ИС. Во втором разделе разбирается оригинальный эксперимент Хаггарда и коллег (Haggard et al., 2002b) и множество других экспериментальных методик, используемых для выявления эффекта. В третьем разделе излагаются основные аргументы сторонников и противников соотношения связывания с чувством агентности. В четвертом разделе обсуждаются проявления эффекта в совместных действиях агентов — двух людей или человека и машины, что служит источником важных сведений о связывании. В пятом разделе эти сведения дополняются данными о влиянии на эффект различных факторов — например, физической и когнитивной нагрузки и задержки между действием и сигналом. В шестом разделе на основании доступных данных будет оценено единство эффекта и его соотношение с чувством агентности. Наконец, в обсуждении будут сформулированы выводы и предложения, актуальные для будущих исследований.

Чувство агентности

За свою жизнь люди сталкиваются с множеством видов субъективного опыта, осведомленности как о внешних, так и о внутренних событиях. Важное место в содержании сознания занимает чувство агентности (Gallagher, 2000) — вид осведомленности субъекта, связанный с его авторством в отношении собственных действий. Безотносительно того, способен ли человек влиять на мир свободно, он приписывает себе наступление определенных событий, полагает себя их причиной и автором. Люди различают свои собственные и чужие действия, ощущают ответственность за одни происшествия, но не за другие. Например, мы сами зачастую открываем холодильник, редактируем статью или почесываем себе спину. Впрочем, то же самое можем делать не мы, а иной агент — и мы обычно знаем, мы ли чешем себе спину или играем в теннис или же это делает кто-то другой. С другой стороны, дуновение ветра в лицо или падение на нас снега с ветки мы полагаем событиями, которые происходят с нами, а не нашими действиями.

В литературе часто выделяют низкоуровневую и высокоуровневую формы чувства агентности. Это разграничение выражается с помощью таких понятий, как ощущение агентности и суждение об агентности (Synofzik et al., 2008), или дорефлексивная и рефлексивная агентность (Gallagher, 2012). Ощущение агентности также может называться опытом агентности (Bayne, Pacherie, 2007). Это противопоставление призвано отгородить непосредственный субъективный опыт действующего агента от его последующей концептуализации и осмысления. Феноменологическое богатство опыта агентности является предметом дискуссии (Bayne, 2008): в литературе нет согласия о том, какие именно компоненты чувства агентности представлены в феноменальном сознании. Далеко не все авторы согласны с тем, что в нашем субъективном опыте есть особое качество, «то, каково это» — быть действующим субъектом. Бейн и Леви (Bayne, Levy, 2006) выделяют такие гипотетические аспекты феноменологии агентности, как опыт ментальной каузальности (психической причинности), собственного авторства по отношению к действию и приложения усилия для осуществления действия.

На данный момент было разработано несколько нейрокогнитивных моделей возникновения чувства агентности, основанных на альтернативных теоретических объяснениях. Важной вехой в этой области было введение компараторной модели (Frith et al., 2000). Согласно компараторной модели, чувство агентности опирается на механизмы сравнения между предсказанным на основе эфферентной команды результатом действия и оценкой его реальных последствий. Соответствие между предсказанием и реальностью побуждает агента воспринимать действие как собственное, а несогласование приводит к отчуждению действия. Так, в компараторной модели чувство агентности возникает на низком уровне и укоренено в процессах управления движением. Главным конкурентом компараторной модели стала нарративная модель (Carruthers, 2007; Wegner, Wheatley, 1999). Согласно нарративной

модели, чувство агентности контролируется представлениями агента о причинно-следственных связях в мире, исходя из которых он делает выводы о своем участии в окружающих событиях. Нарративная модель располагает чувство агентности в области высокоуровневых когнитивных схем. В дальнейшем в литературе возник двухуровневый подход (Bayne, Pacherie, 2007; Synofzik et al., 2008), который предлагает компромисс между компараторной и нарративной моделями, принимая существование обоих типов механизмов. В рамках двухуровневого подхода компараторная и нарративная модели не являются исчерпывающими, но отвечают за низкоуровневые и высокоуровневые проявления чувства агентности соответственно.

Развивая двухуровневый подход, Синофзик и коллеги (Synofzik et al., 2008) предложили мультифакторную взвешивающую модель чувства агентности, которая в итоге преобразовалась в модель оптимальной интеграции сигналов (Moore, Fletcher, 2012; Synofzik et al., 2013; Vosgerau, Synofzik, 2012). Подобную идею множественности источников информации, на которые опирается чувство агентности, ранее предлагали Галлахер и Захави (Gallagher, Zahavi, 2007), но их соображения не оформились в конкретную модель. В моделях с интеграцией за чувство агентности отвечает сложная система, принимающая и суммирующая разные типы внешних и внутренних сигналов — в частности, эфферентные команды, зрительную информацию или представления агента о причинности. Чувство агентности возникает или не возникает в результате сложения этих сигналов, обладающих разными весами и приоритетом. Более ранняя мультифакторная взвешивающая модель не описывает конкретные принципы, согласно которым происходит взвешивание разных факторов, а модель оптимальной интеграции сигналов опирается на байесовскую интеграцию сигналов с использованием метода максимального правдоподобия (Braun et al., 2018). Похожие принципы интеграции сигналов применяются при моделировании не только чувства агентности, но и иллюзии резиновой руки (Botvinick, Cohen, 1998), а также зрительного восприятия (Van Dam et al., 2015; Rohde et al., 2016).

Одна из основных задач экспериментальных исследований чувства агентности заключается в нахождении его неявных показателей. Суждения, выносимые людьми по отношению к тем или иным событиям, недостаточны для исследований агентности по трем основным причинам. Во-первых, в повседневной жизни люди обычно совершают действия без размышлений о том, кто является их автором. Требование последовательно оценивать свою роль в происходящем вокруг существенно отдаляет опыт действия в экспериментальных условиях от обычной жизни. Во-вторых, современные концепции агентности допускают диссоциацию между непосредственным низкоуровневым и высокоуровневым чувством агентности (Bayne, Pacherie, 2007; Synofzik et al., 2008) — суждения проливают свет только на его второй вариант, так как сами порождаются высокоуровневыми процессами. В-третьих, в экспериментальных исследованиях суждения об агентности фиксируются посредством опросов, которые не имеют стандартных формулировок

и по-разному понимаются испытуемыми. Испытуемый оценивает свое согласие с некоторыми утверждениями по шкале Лайкерта (Dewey, Knoblich, 2014; Ebert, Wegner, 2010; Pyasik et al., 2018) или выбирает одно из утверждений, которое лучше всего описывает его опыт (Braun et al., 2014; Saito et al., 2015). При этом утверждения могут касаться ощущения контроля (Braun et al., 2014; Dewey, Knoblich, 2014), полагания себя причиной события (Ebert, Wegner, 2010; Wen et al., 2015a) или, например, соответствия между предъявленными на экране движениями и собственными движениями испытуемого (Saito et al., 2015).

Неявные корреляты чувства агентности имеют не только теоретическую, но и практическую ценность. В современном мире человеку приходится взаимодействовать с различными техническими устройствами. Некоторые из них — например, экзоскелеты или функциональные протезы — служат инструментами воздействия человека на мир. Какими должны быть подобные устройства, чтобы человек чувствовал себя как можно более непринужденно при работе с ними, воспринимал инструмент как продолжение собственного тела? Сможет ли человек работать совместно с устройствами, способными многократно улучшить его физические характеристики? Неявные корреляты чувства агентности были бы способны пролить свет на непосредственные ощущения человека при совершении действий и тем самым помочь в разработке и совершенствовании различных устройств и интерфейсов. В литературе выделяют нейрофизиологические (Haggard, 2017; Kühn et al., 2013; Zito et al., 2020) и поведенческие корреляты чувства агентности. К сожалению, нейрофизиологические исследования не позволяют получить достоверных коррелятов наличия чувства агентности, хотя регистрируют ответ на потерю испытуемым контроля над действием (Zito et al., 2020). Из-за их малой информативности использование нейрофизиологических коррелятов оказывается затруднительным и неоправданно сложным.

Поведенческие корреляты обладают тем преимуществом, что не требуют дорогостоящего оборудования и длительной установки датчиков. К поведенческим коррелятам чувства агентности относят интенциональное связывание и сенсорную аттенюацию. Сенсорная аттенюация — это эффект ослабления ощущений, возникающих в результате произвольных действий в сравнении с непроизвольными. Например, из-за сенсорной аттенюации здоровый человек не способен сам себя пощекотать, в отличие от пациента с шизофренией (Blakemore et al., 2000). Наш обзор посвящен именно интенциональному связыванию, и этот выбор обусловлен тремя соображениями.

Во-первых, ИС является самым изучаемым предположительным показателем, отражающим проявление у испытуемого чувства агентности. Совместный поиск в Google Scholar устойчивых сочетаний «intentional binding» и «sense of agency» приводит к выдаче более 1300 результатов. Например, сочетанию «sensory attenuation» и «sense of agency» соответствует около 700 результатов — почти в два раза меньше. Во-вторых, помимо распространенности, для данного показателя характерна некоторая неоднозначность, которая требует

анализа. Во многих работах ИС используется в качестве достоверного показателя для изучения ощущения агентности, пригодность которого не обсуждается всерьез (Dewey, Knoblich, 2014; Saito et al., 2015). В то же время существует множество цитируемых работ, подвергающих сомнению утверждение о том, что ИС отражает чувство агентности (Buehner, 2012; Kirsch et al., 2019; Suzuki et al., 2019). В-третьих, ИС — сложный показатель, на который влияют самые разные факторы, и иногда данные об их влиянии противоречивы. Эта особенность тоже требует детального разбирательства. Таким образом, наша задача в обзоре — проанализировать литературу, посвященную важному, но неоднозначному показателю, проявляющемуся по-разному в тех или иных экспериментах. Неоднозначность и сложность показателя способны препятствовать его эффективному применению, поэтому результаты анализа имеют высокую ценность для исследований чувства агентности.

Интенциональное связывание

Открытие ИС

Интенциональное связывание — это феномен взаимного сближения во времени действия и следующего за ним результата в восприятии агента. Хаггард и коллеги (Haggard et al., 2002a; Haggard et al., 2002b) показали, что при произвольном нажатии на клавишу испытуемые склонны воспринимать момент совершения действия как более поздний, а следующий за ним момент подачи звукового сигнала — как более ранний, чем на самом деле. Время событий фиксировалось испытуемыми по положению стрелки на «часах Либета» (Libet et al., 1983) — циферблате со стрелкой, совершавшей полный оборот за 2560 мс. Если нажатие являлось не произвольным, а вызывалось транскраниальной магнитной стимуляцией, оценки времени действия и сигнала смещались в другую сторону: действие воспринималось как более раннее, а сигнал — как более поздний. В контрольных условиях с предъявлением сигнала без предшествующего действия или совершением действия без следующего за ним сигнала между оценками и реальным временем событий не было найдено значимой разницы. Обнаружив, что эффект сопровождается только произвольные действия, Хаггард и коллеги предположили его связь с чувством агентности.

Интерпретация результатов эксперимента, предложенная Хаггардом и коллегами, объясняла ИС через влияние работы прямой внутренней модели управления движениями на восприятие времени. Испытуемый обучается тому, что нажатие клавиши вызывает звук — это приводит к закреплению внутренней модели, сопрягающей действие с его результатом. Впоследствии всякий раз, когда испытуемый реализует свое намерение совершить движение, он ожидает соответствующего результата. Если результат действия согласуется с предсказанием, заложенным во внутренней модели, такое действие опосредованно приведет к субъективному сближению действия и сигнала во времени. С другой стороны, движение, вызванное ТМС, или движение без ожидаемого сигнала приведет к отсутствию эффек-

та связывания. Хаггард и коллеги уподобляют ИС сенсорной аттенюации, которая тоже объясняется через соответствие моторной команды и ее ожидаемого результата (Blakemore et al., 2000). Различие заключается в разновидностях внутренних моделей: сенсорные прямые модели, предположительно стоящие за ИС, предсказывают внешние сигналы, а динамические прямые модели, ответственные за сенсорную аттенюацию, — положение тела агента (Wolpert, Ghahramani, 2000). Цакирис и Хаггард (Tsakiris, Haggard, 2003) продемонстрировали, что ИС и оцененная в баллах сенсорная аттенюация наблюдаются вместе, если сигналом после действия служит не звук, а соматическая стимуляция. В этом эксперименте нажатие на кнопку пальцем левой руки вызывало импульс ТМС, приводивший к подергиванию указательного пальца правой руки. В случае, если испытуемые нажимали на кнопку произвольно, они воспринимали нажатие на кнопку и подергивание другого пальца ближе во времени, а подергивание менее интенсивным, чем в случае непроизвольного нажатия на кнопку, также инициированного ТМС.

В дальнейших экспериментальных исследованиях ИС были получены самые разные результаты: эффект воспроизводился, исчезал, усиливался или ослабевал. Подобные изменения могли быть вызваны существенными вариациями экспериментальной методики измерения связывания. Поэтому перед тем, как перейти к вопросу о соотношении между связыванием и чувством агентности, мы рассмотрим основные способы измерения ИС, которые возникли по мере его изучения.

Способы измерения ИС

В литературе встречается несколько способов измерения силы интенционального связывания, опирающихся на разные экспериментальные методики. Среди многочисленных исследований эффекта по состоянию на 2019 год Танака и коллеги (Tanaka et al., 2019) различают пять разновидностей методик: использование «часов Либета» для фиксации момента действия или сигнала (Engbert, Wohlschläger, 2007; Haggard et al., 2002b; Ruess et al., 2018), прямая оценка длительности интервала между действием и сигналом (Braun et al., 2014; Engbert et al., 2008; Wen et al., 2015b), воспроизведение интервала между действием и сигналом (Dewey, Knoblich, 2014; Howard et al., 2016; Humphreys, Buehner, 2010), суждение об одновременности событий (Cravo et al., 2011; Parsons et al., 2013) и суждение о порядке событий (Haering, Kiesel, 2012). В дополнение к их списку следует упомянуть измерение связывания с помощью метода постоянных раздражителей (Nolden et al., 2012) и связывание в пространстве (Kirsch et al., 2016). Не все варианты методик встречаются с одинаковой частотой: только первые три из них получили относительно широкое применение. Ниже описаны главные особенности перечисленных методов измерения ИС — в дальнейшем мы будем иметь в виду эти особенности, сравнивая результаты разных исследований.

Оригинальная методика с «часами Либета», задействованная Хаггардом и коллегами (Haggard et al., 2002b), предполагала наблюдение за ходом стрелки часов и запоминание положения стрелки в момент

действия или сигнала. Стрелка совершала полный оборот за 2560 мс, сигнал звучал через 250 мс после действия. Время действия и время сигнала фиксировались испытуемыми в разных блоках проб. Помимо условий с действиями, в эксперименте присутствовало два контрольных условия — с действием без звука и звуком без действия. Средние оценки моментов действия и подачи сигнала соответственно вычитались из средних оценок в контрольных условиях — так высчитывались сдвиг действия и сдвиг сигнала. Мерой ИС являлась сумма двух средних сдвигов. В некоторых других исследованиях измерялись только сдвиги действия (напр., Moore, Haggard, 2008) или сдвиги сигнала (напр., Pyasik et al., 2018), или сдвиги действия и сигнала рассматривались раздельно (напр., Wolpe et al., 2013). Задержка между действием и сигналом в дальнейших исследованиях ИС часто варьировалась, чтобы уменьшить предсказуемость точного момента подачи сигнала: у Хаггарда и коллег она была постоянной. Далее упоминание «сдвигов действия» или «сдвигов сигнала» всегда будет отсылать к методике с использованием «часов Либета».

Энгберт и коллеги (Engbert et al., 2008) выявили, что эффект связывания сохраняется, если испытуемые дают прямую численную оценку длительности временного интервала между действием и сигналом. Для получения меры субъективного сжатия интервала из оценок испытуемых вычитались реальные длительности интервалов, которые варьировались в рамках одного блока (у Энгберта и коллег задержки составляли 200, 250 или 300 мс). Главным достоинством своей методики Энгберт и коллеги считают освобождение внимания испытуемого — в парадигме с фиксированием положения стрелки «часов Либета» испытуемому приходится пристально смотреть на часы, а также синхронизировать внешние и ментальные события. Кроме того, вербальные оценки интервалов позволяют уменьшить число блоков проб в эксперименте, поскольку не требуют раздельных блоков, посвященных фиксированию времени совершения действия и подачи сигнала. Чтобы устранить влияние выбросов — преувеличенных оценок интервалов, — в некоторых работах (Cravo et al., 2009; Humphreys, Buehner, 2009) вместо средних разностей между оценкой и интервалом использовались медианные разности.

В работе 2010 года Хамфрис и Бьюнер (Humphreys, Buehner, 2010) предложили другой способ измерять субъективное сжатие интервалов. В их эксперименте длительность интервала между действием и сигналом составляла от 1200 до 1600 мс, испытуемым предлагалось воспроизвести эту длительность, зажимая кнопку в течение соответствующего времени. Главным преимуществом своей методики по сравнению с озвучиванием оценки авторы полагают отсутствие категориальных ответов. Столкнувшись с монотонной задачей оценивания похожих отрезков времени, некоторые испытуемые могут свести возможные оценки всего к нескольким вариантам. Методика Хамфриса и Бьюнера еще сильнее отличается от методики с «часами Либета», чем вербальные оценки интервалов, — здесь сама оценка производится с помощью совершения движения. Бьюнер и Хамфрис (Buehner, 2012; Buehner,

Humphreys, 2009) также применяли другую версию методики, где испытуемые не воспроизводили интервал, а предугадывали момент подачи сигнала и нажимали на клавишу тогда, когда ожидали его услышать.

В эксперименте Краво и коллег (Cravo et al., 2011) испытуемые выносили суждение об одновременности или неодновременности звукового сигнала, вызываемого действием, и вспышки на экране. Предварительно испытуемых приучали воспринимать звук как следствие действия, в отличие от вспышки. Когда испытуемые совершали произвольное действие, они считали звук и вспышку одновременными, даже если вспышка опережала звук на 20–30 мс. Авторы объясняют этот результат возникновением ИС. С помощью варьирования задержки между звуком и вспышкой методика Краво и коллег позволяет изучать силу связывания, но только сдвига сигнала, а не сдвига действия. Авторы полагают, что их методика удобна для испытуемых, поскольку судить об одновременности событий проще, чем производить измерения времени.

Существуют и другие методики, применявшиеся в единичных работах. Хэринг и Кисел (Haering, Kiesel, 2012) ставили перед испытуемыми задачу определить временной порядок двух стимулов. Испытуемых убеждали в том, что именно они вызвали появление одного стимула, но не другого. В результате стимул, за который испытуемый считал себя ответственным, воспринимался как более ранний, хотя на деле оба стимула появлялись одновременно. У Хэринг и Кисел испытуемые воспринимали «свой» стимул как более ранний до тех пор, пока он не появлялся позже «чужого» на 5–7 мс. Нолден и коллеги (Nolden et al., 2012) применили метод постоянных раздражителей для измерения ИС. Авторы получили эффект связывания при задержках в 600 мс, но не 250 мс. Эксперимент предполагал участие испытуемых в экспериментах в течение нескольких дней. Наконец, Кирш и коллеги (Kirsch et al., 2016) обнаружили эффект, аналогичный сжатию во времени интервалов, для оценок расстояния между эффектором — рукой испытуемого — и расположением визуального стимула, следующего за действием. Рука испытуемого была скрыта под непрозрачной поверхностью, при передвижении стилуса испытуемые оценивали положение руки как более близкое к визуальному стимулу на поверхности, чем на самом деле.

Таким образом, в литературе представлено множество вариантов измерения ИС. В разделах «Структура ИС» и «Обсуждение» мы излагаем авторскую позицию относительно использования различных вариантов в исследованиях. Чтобы перейти к этому вопросу, нам сначала требуется рассмотреть свидетельства «за» и «против» жесткой корреляции между ИС и чувством агентности. Также нам следует изучить особенности влияния различных факторов на разные варианты методики, чтобы понять, насколько они эквивалентны.

ИС и чувство агентности

Далее речь пойдет о предположительной корреляции интенционального связывания и чувства агентности. Мы рассмотрим позиции сторонников и противников

проведения соответствия между ними, а также обратимся к данным о корреляции эффекта с суждениями об агентности — явным и вербальным приписыванием себе авторства по отношению к действию.

ИС как показатель чувства агентности

Каким образом работа внутренних моделей управления движением, привлеченная Хаггардом и коллегами (Haggard et al., 2002b), связана с чувством агентности? Согласно упомянутой ранее компараторной модели чувства агентности (Frith et al., 2000), механизмы сравнения между выводом прямых моделей и реальным результатом действия объясняет возникновение чувства агентности. В интерпретации оригинального эксперимента Хаггарда и коллег фигурировало именно такое представление о работе чувства агентности. Однако со временем объяснение через обработку эфферентной информации оказалось недостаточным для описания новых данных других авторов. Усложнение теоретических концепций агентности отобразилось и на исследованиях ИС. В ряде работ было показано, что эффект модулируется не только соответствием намерения и результата действия, но и представлениями агента о причинности (Desantis et al., 2011; Moore, Haggard, 2008), и получение эффекта оказалось возможным в отсутствие моторного действия (Caspar et al., 2021; Suzuki et al., 2019). По-видимому, само ИС, подобно чувству агентности, не определяется работой одного простого механизма.

На сегодняшний день найдены разные свидетельства в пользу того, что связывание имеет отношение к произвольности действия. Например, Джо и коллеги (Jo et al., 2014) установили, что сила эффекта коррелирует с амплитудой потенциала готовности, сопровождающего произвольные действия. Бек и коллеги (Beck et al., 2017) показали, что сдвиг действия и сдвиг сигнала усиливаются при более высоком уровне контроля испытуемого над ситуацией. Сдвиги усиливались в блоках проб, где испытуемые имели возможность своими действиями снизить интенсивность болевого стимула. При повышенном контроле испытуемые также занижали интенсивности стимула по сравнению с контрольным условием, что говорит о сцепленности ИС и сенсорной аттенюации. Используя суждения об одновременности событий, Краво и коллеги (Cravo et al., 2011) показали, что по крайней мере в их методике связывание не наблюдалось в отсутствие действия — в эксперименте звуковой сигнал предсказуемо следовал за появлением метки на экране. Барлас и коллеги (Barlas et al., 2017) показали, что связывание проявляется сильнее при более широком выборе действий (клавиш для нажатия). В то же время следует заметить, что авторы сравнивали субъективные оценки интервалов, а не их разности с реальной длиной интервалов. Наконец, некоторые данные о локализации в мозге процессов, ответственных за ИС, соотносят его с известными нейронными коррелятами чувства агентности (Moore, Obhi, 2012).

Перспективными областями исследований эффекта, которые могут прояснить соотношение ИС с осведомленностью действующего агента, следует назвать изучение эффекта у пациентов с шизофренией (см. об-

зоры Мура и Флетчера [Moore, Fletcher, 2012] и Хаггарда [Haggard, 2017]), а также в контексте изучения связи между чувством агентности и чувством обладания (см. обзор Брауна и коллег [Braun et al., 2018]). Однако эксперименты с участием пациентов сами требуют глубокого разбирательства: на сегодняшний день их сложно проинтерпретировать однозначно. Применение данных о пациентах с психическими заболеваниями к исследованиям чувства агентности — отдельная задача, которую не пытается решить данный обзор.

Другие объяснения эффекта

Вместе с тем существуют и другие интерпретации эффекта интенционального связывания. В литературе регулярно появляются работы, где излагаются аргументы против однозначного сопряжения ИС с чувством агентности. Еще в 2002 году Иглмен и Холкомб (Eagleman, Holcombe, 2002) предложили интерпретацию эксперимента Хаггарда и коллег, которая делает упор на причинной связи между действием и сигналом. Согласно авторам, любые события, между которыми есть причинно-следственная связь, притягиваются друг к другу во времени в восприятии субъекта. Произвольность движения гарантирует предсказуемость момента звучания сигнала и подтверждает представление о наличии причинной связи между движением и сигналом, что в итоге усиливает эффект связывания.

Руководствуясь похожими соображениями при планировании эксперимента, в 2009 году Бьюнер и Хамфрис (Buehner, Humphreys, 2009) описали феномен «каузального связывания во времени». Авторы обнаружили, что при совершении произвольного движения испытуемые ожидали подачу сигнала раньше, если между действием и сигналом была ясная причинно-следственная связь. В эксперименте использовалась методика, в рамках которой испытуемые угадывали моменты звучания сигналов и синхронизировали с ними нажатия на клавишу, то есть вариант методики воспроизведения временных интервалов. В 2012 году Бьюнер (Buehner, 2012) разделил эффекты преднамеренного характера действия и причинно-следственной связи между событиями. В качестве сигнала в исследовании использовался не звук, а зажигание светодиода. Действия самого испытуемого сравнивались с аналогичными действиями машины, для которых также прослеживалась причинно-следственная связь. Посредством выключателя испытуемый «запускал» машину, и она совершала нажатие через случайный промежуток времени, который на самом деле контролировал экспериментатор. В эксперименте было и третье условие, где сигнал следовал за зажиганием другого светодиода в отсутствие каких-либо событий, напоминающих движение. Связывание наблюдалось для действий испытуемого и «действий» машины без значимых различий, но отсутствовало в случае, когда светодиоды зажигались друг за другом. Согласно интерпретации Бьюнера, за связывание во времени ответственны представления испытуемых о причинности, а не произвольность действия. Однако следует иметь в виду, что в блоке с «действиями» машины испытуемый запускал ее в каждой пробе — элемент произвольного движения не был исключен из этого экспериментального условия. В работе

2015 года Бьюнер (Buehner, 2015) провел похожий эксперимент с применением «часов Либета». Связывание было несколько более сильным в случае произвольных движений. Эффект, подобный каузальному связыванию во времени, был выявлен и в случае пространственных оценок (Buehner, Humphreys, 2010).

Есть и другие свидетельства в пользу того, что связывание модулируется представлениями испытуемых о причинности. Мур и коллеги (Moore et al., 2009b) сравнивали влияние конгруэнтности действия и сигнала на произвольные и непроизвольные движения: ее влияние на связывание в случае непроизвольных движений было значимо сильнее. Авторы объяснили данный результат большим весом эфферентной команды в модели интеграции сигналов. Догге и коллеги (Dogge et al., 2012) убеждали испытуемых в том, что они вызывали сигнал обратной связи, когда совершали непроизвольные движения. Одна лишь убежденность испытуемых приводила к промежуточному по силе связыванию между действием и сигналом, измеренному с помощью «часов Либета». В работе Десантис и коллег (Desantis et al., 2011) был проверен обратный случай: связывание исчезало, когда испытуемых удавалось убедить в том, что за сигнал после действия был ответственен другой агент. Краво и коллеги (Cravo et al., 2009) добились диссоциации причинности и произвольности движения в эксперименте, применив методику Мишотта с запуском фигур (Michotte, 1946). Авторы наблюдали ИС только при условии сочетания произвольности движения и наличия причинной связи в движении фигур на экране. В рассмотренных выше работах использовалась как методика с «часами Либета», так и прямая оценка интервалов.

Не исключено, что эффект связывания возможно вызвать в отсутствие произвольного движения. Сузуки и коллеги (Suzuki et al., 2019) получили эффект связывания не только для активных нажатий клавиши испытуемыми, но и для видеозаписей их действий, предъявленных с помощью шлема виртуальной реальности. Сила связывания статистически не различалась между блоками с совершением движения и без, но эффект был слабее в третьем блоке, где кнопка западала сама, без участия руки. Сузуки и коллеги использовали методику с прямой оценкой интервалов, но следует заметить, что авторы сравнивали оценки интервалов, а не разности между оценками и реальными интервалами. Сузуки и коллеги интерпретируют результаты как аргумент в пользу «каузальной» гипотезы Бьюнера о природе связывания во времени, но остается вероятным, что наблюдение собственной руки в виртуальной реальности вызывало у испытуемых ощущение агентности. Вдобавок к звуковому сигналу авторы использовали тактильную стимуляцию руки, что могло усилить чувство собственности по отношению к виртуальной руке.

Кириш и коллеги (Kirsch et al., 2019) повторили оригинальный эксперимент Хаггарда, попытавшись сделать поправку на предсказуемость произвольных движений на фоне непроизвольных. В случае «непредсказуемых произвольных движений» испытуемых просили совершать движение после изменения цвета стрелки. Сдвиг действия был сильнее, если за действием следовал сигнал, однако этот эффект не был

получен для действий, осуществляемых по команде. Пусть авторы и пытались нивелировать планирование произвольных движений, но их «непредсказуемость» достигалась с помощью принуждения к действию, а принуждение способно ослаблять связывание вместе с чувством агентности (Caspar et al., 2016).

По всей видимости, представления испытуемых о причинности и вправду способны модулировать ИС при совершении произвольных действий. Одновременно с этим проявление ИС в отсутствие движения требует тщательного подбора экспериментальных условий, а для проверки и уточнения этих условий нужны дополнительные исследования. Следует заметить, что манипуляции, благодаря которым связывание исчезает в случае произвольных движений или появляется для непроизвольных движений, в приведенных экспериментах были нацелены именно на чувство агентности испытуемых. Манипуляции с причинностью влияют на суждения об агентности (Wegner, Wheatley, 1999), поскольку чувство агентности отчасти опирается на высокоуровневые механизмы, предложенные нарративным подходом. Но всегда ли связывание совпадает с высокоуровневой агентностью?

Корреляция с суждениями об агентности

Прямым свидетельством в пользу гипотезы о связи между интенциональным связыванием и высокоуровневым чувством агентности было бы наличие корреляции между эффектом связывания и суждениями испытуемых об агентности. С другой стороны, отсутствие корреляции между ними необязательно говорило бы о диссоциации между ИС и чувством агентности вообще. Двухуровневые подходы к агентности позволяют рассматривать диссоциацию между ощущением агентности и суждениями о ней (Bayne, Pacherie, 2007; Synofzik et al., 2008). Таким образом, отсутствие корреляции между ИС и суждениями об агентности можно толковать двояко: либо методика обнаруживает, что связывание не является показателем чувства агентности, либо у испытуемого происходит диссоциация двух уровней чувства агентности во время эксперимента.

Корреляция между силой эффекта связывания и высказанными суждениями об агентности у отдельных испытуемых обнаруживалась в одних работах (Ebert, Wegner, 2010; Imaizumi, Tanno, 2019; Pyasik et al., 2018), но отсутствовала в других (Braun et al., 2014; Van den Bussche et al., 2020; Dewey, Knoblich, 2014; Saito et al., 2015; Wen et al., 2015b). Во многих экспериментах суждения об агентности выносились в форме баллов по шкале Лайкерта. Испытуемые чаще всего отвечали на вопрос о том, чувствовали ли они себя причиной сигнала — в контексте феноменологии агентности, развиваемой Бейном и Леви (Bayne, Levy, 2006), гипотетическое «ощущение причинности» является одним из компонентов опыта агентности наряду с ощущением авторства и усилия. В некоторых работах чувство агентности модулировалось задержкой между действием и сигналом — задержка влияла на связывание и суждения об агентности. Видимое затухание суждений об агентности при увеличении задержки Вэн (Wen, 2019) в своем обзоре объясняет тем, что испытуемые могут чувствовать потребность давать разные оценки

в разных блоках проб, особенно если им заметна ясная градация условий. С другой стороны, согласно автору, при увеличении временной задержки достоверно снижается низкоуровневое чувство агентности, опирающееся на прямые модели управления движением, а также высокоуровневая агентность по отношению к привычным повседневным действиям.

Сопоставление результатов осложняется тем, что между указанными исследованиями существует заметная разница в методиках. Пясик и коллеги (Pyasik et al., 2018) и Саито и коллеги (Saito et al., 2015) использовали «часы Либета», Дьюи и Кноблих (Dewey, Knoblich, 2014) и Ван ден Буше и коллеги (Van den Bussche et al., 2020) задействовали процедуру воспроизведения интерва-

ла; в других работах испытуемые оценивали интервал между действием и сигналом в уме. Имелись различия и в модальности сигнала: Эберт и Вегнер (Ebert, Wegner, 2010) и Вэн и коллеги (Wen et al., 2015b) просили испытуемых фиксировать начало движения предъявляемой картинки, Имаизуми и Танно (Imaizumi, Tanno, 2019) рассматривали как звуковые, так и зрительные сигналы. У Саито и коллег испытуемые отвечали «да» или «нет» на вопрос о том, повторяет ли виртуальная рука их собственные движения, а у Брауна и коллег испытуемые выбирали между четырьмя суждениями, описывающими степени контроля над движениями искусственной руки. Наиболее важные элементы методик приведены в таблице 1.

Таблица 1. Методические аспекты исследований и наличие в результатах корреляции между интенциональным связыванием и суждениями об агентности

Работа	Метод измерения ИС	Метод оценки суждений об агентности	Расположение задач (ИС + суждения) по блокам проб	Тип движения	Тип сигнала	Переменная для модуляции чувства агентности	Корреляция
Ebert, Wegner, 2010	Оценка интервала*	Баллы, суждение о причине сигнала*	Разные блоки + один блок	Смещение джойстика	Начало движения зрительного стимула	Задержка и тип результата (движение картинки сонаправленно или обратно движению джойстика)	+
Braun et al., 2014	Оценка интервала	Выбор суждения о степени контроля	Суждения один раз за блок	Нажатие клавиши	Звук	Собственные движения vs движения другого	–
Dewey, Knoblich, 2014	Воспроизведение интервала	Баллы, шкала локуса контроля	Суждения после эксперимента	Нажатие клавиши	Звук	Задержка	–
Saito et al., 2015	«Часы Либета»	Суждение о соответствии движений виртуальной руки движениям собственной	В разных блоках	Нажатие клавиши / смещение джойстика	Звук	Разные задачи для ИС и суждений	–
Wen et al., 2015	Оценка интервала	Баллы, суждение о причине сигнала	В каждой пробе	Нажатие клавиши	Начало движения зрительного стимула	Задержка	–
Pyasik et al., 2018	Сдвиг сигнала	Баллы, суждение о причине сигнала	В каждой пробе	Нажатие клавиши	Звук	Собственные движения vs отсутствие движения	+
Imaizumi, Tanno, 2019	Оценка интервала*	Баллы, суждение о причине сигнала	В каждой пробе	Нажатие клавиши	Звук / визуальный сигнал	Задержка	+
Van den Bussche et al., 2020	Воспроизведение интервала	Баллы, суждение о причине сигнала	В разных блоках	Решение фланговой задачи Эриксона	Визуальный сигнал	Активные vs пассивные движения	–

Примечание. * — особенности работ, связанные с нетипичной обработкой данных.

Указанные выше работы имеют и другие особенности, выраженные в экспериментальных методиках и обработке данных. Эберт и Вегнер (Ebert, Wegner, 2010) по-своему рассчитывали меру ИС. В их эксперименте роль действия играло смещение джойстика, а роль сигнала — начало смещения предъявляемой испытуемому картинки. Картинка могла перемещаться сообразно направлению смещения джойстика или в обратную сторону. Для расчета силы связывания авторы вычисляли разность между оценками испытуемых в этих двух условиях — с совпадающим и не совпадающим смещением стимула. Между баллами суждений об агентности тоже вычислялась разность, и для этих двух типов разностей была показана корреляция. Таким образом, полученная корреляция весьма косвенно относится к корреляции между связыванием и суждениями вне контекста того, насколько постоянным является смещение стимула. Вместе с тем ценным результатом является то, что Эберт и Вегнер обнаружили исчезновение корреляции, если оценки интервалов и суждения об агентности запрашивались в разных экспериментальных блоках, а не в одном и том же. Пястик и коллеги (Pyasik et al., 2018) выбрали мерой ИС временной сдвиг сигнала и противопоставили активные действия непредсказуемому звучанию сигнала без действий. Так как связывание для одного сигнала без второго события невозможно и два условия сильно различались уже в плане наличия видимой причины сигнала, продемонстрированная корреляция служит недостаточным доказательством сцепленности эффекта связывания и суждений об агентности.

В работе 2019 года Имаизуми и Танно (Imaizumi, Tanno, 2019) была предпринята попытка установления корреляции на уровне отдельных проб. В случае звуковых сигналов авторы зафиксировали корреляцию между балльными оценками чувства агентности и отношениями, вычисленными между оценками интервалов в «активном» и контрольном условиях. В «активном» условии испытуемый совершал движение и слышал сигнал, а в контрольном — последовательно слышал два разных звуковых сигнала. На оценки агентности в баллах и отношения между оценками времени влияла задержка между действием и сигналом. Нельзя исключать, что разница между суждениями об агентности при различных задержках и неизменности других параметров объясняется приведенным ранее предположением Вэн (Wen, 2019): испытуемые могли решить, что на выставяемые ими баллы должна влиять именно задержка, поскольку другие параметры эксперимента не варьировались, — в этом плане эксперимент Эберта и Вегнера менее чувствителен к критике. Кроме того, неизвестно, почему Имаизуми и Танно не рассчитывали субъективное сокращение интервалов обычным способом, — эта особенность обработки данных мешает сравнению результатов эксперимента с другими литературными данными. В итоге из трех исследований, подтвердивших корреляцию между силой связывания и суждениями об агентности, наиболее убедительной выглядит работа Эберта и Вегнера, однако вычисленная в ней корреляция показана для специфической экспериментальной методики, где на связывание и суждения испытуемых влияло совпадение

или несовпадение между действием и ожидаемым после него сигналом.

У работ, не продемонстрировавших искомой корреляции, есть свои недостатки. Браун и коллеги (Braun et al., 2014) просили испытуемых выносить суждения о степени контроля над действием один раз за блок экспериментальных проб. В свете этого сами авторы предупреждают, что их эксперимент, направленный на изучение связи чувства агентности и чувства обладания, не позволяет четко зафиксировать диссоциацию между ИС и суждениями о контроле. Дьюи и Кноблих (Dewey, Knoblich, 2014) также просили испытуемых выносить суждения один раз после блока проб, а не после каждой пробы. Саито и коллеги (Saito et al., 2015) в двух отдельных блоках рассматривали ИС и суждения о соответствии движений виртуальной руки движениям реальной руки. В первом блоке испытуемый нажимал кнопку, вызывая сигнал, а во втором смещал джойстик, наблюдая за виртуальной рукой, подобно ему смещавшей джойстик. Разница между задачами предполагает, что авторы могли провести только опосредованное сравнение между ИС и суждениями, которые касаются агентности только отчасти. Ван ден Буше и коллеги (Van den Bussche et al., 2020) тоже разделили оценки интервалов и суждения о причинности на два блока. Учитывая, что Эберт и Вегнер обнаружили зависимость корреляции от совмещения двух задач или разнесения их по разным блокам проб, результаты в указанных исследованиях могут объясняться именно разделением задач или слишком редким по сравнению с оценками времени опросом о суждениях. Временные оценки и суждения об агентности не были разделены в эксперименте Вэн и коллег (Wen et al., 2015b), но в этой работе единственным изменяющимся параметром была задержка между действием и сигналом. Увеличенная задержка привела к усилению эффекта связывания, как и в нескольких других работах с оценкой интервалов, но при этом к уменьшению оценок агентности в баллах, которое может объясняться представлениями испытуемых о том, как должны были быть связаны варьировавшиеся в эксперименте особенности процедуры и их оценки.

Подводя итоги этого раздела, обратим внимание на то, что рассмотренные работы не позволяют однозначно ответить на вопрос о существовании корреляции между ИС и высокоуровневым чувством агентности. Основной причиной этого является использование некоторыми авторами нетипичных методов вычисления меры ИС. Кроме того, для модулирования обоих показателей в экспериментах часто использовалась задержка между действием и сигналом. Далее мы увидим, что увеличение задержки часто приводит к усилению связывания при увеличении интервалов, если связывание измеряется с помощью оценки или воспроизведения интервалов. В частности, в эксперименте Эберта и Вегнера связывание было наиболее сильным при задержке в 700 мс. Баллы суждений об агентности, напротив, снижаются при увеличении задержки, и остается неясным, отражают ли они сведения о чувстве агентности, если задержка является единственным изменяющимся фактором в эксперименте. Другой частый недостаток рассмотренных работ — разнесение двух видов оценок

по разным блокам. Возможно, на вопрос о корреляции между суждениями об агентности и ИС будет дан окончательный ответ, если появятся работы, где обе величины фиксируются в одних и тех же пробах, модулируются более чем одним фактором и рассчитываются согласно общепринятым процедурам.

ИС в совместных действиях

Интенциональное связывание изучается не только в контексте собственных движений человека, но и при рассмотрении совместных действий. Следуя ранней интерпретации эффекта, за связыванием стоят сенсомоторные механизмы и прямые модели управления движением, обрабатывающие копии эфферентных команд. В свете этого чувствительность связывания к социальному контексту в очередной раз означала бы однозначную недостаточность данного объяснения. Вдобавок действия, совершаемые с помощью интерфейса мозг-компьютер, иницируются без отдачи команды к движению. Устойчивый эффект связывания в этом случае был бы прямым свидетельством против необходимости работы механизмов управления движением для возникновения эффекта связывания.

Социальные ситуации

Люди часто совершают действия совместно или в рамках определенной социальной ситуации. Некоторые авторы рассматривают особенный феномен «мы-агентности» («we-agency»; Pacherie, 2014; Salmela, Nagatsu, 2017) во время совместной деятельности. В особых условиях, создающих иллюзии агентности, суждения об агентности высказываются людьми и при наблюдении за действиями окружающих (Wegner et al., 2004; Wegner, Wheatley, 1999). Модулируется ли интенциональное связывание участием других агентов при совершении человеком действия и проявляется ли эффект при наблюдении за ними?

Еще в 2003 году Вольшлегер и коллеги (Wohlschläger et al., 2003) сообщили о значимой разнице между сдвигами двух типов намеренных и двух типов ненамеренных движений. Сдвиг был сильнее для движений, совершаемых испытуемым или сидящим напротив экспериментатором, и слабее для произвольных движений и движений резиновой руки. В качестве объяснения Вольшлегер и коллеги предложили версию нарративной модели чувства агентности: любые намеренные движения воспринимаются одинаково, а различие между собой и другими мозг дедуцирует отдельно. Следует уточнить, что на тот момент еще не существовало общего подхода, который объединял бы нарративную и компараторную модели. Вместе с тем Энгберт и коллеги (Engbert et al., 2008) не обнаружили эффекта связывания для прямых оценок интервалов, когда испытуемые наблюдали за действиями другого агента. Однако Пуниан и Каннингтон (Poonian, Cunnington, 2013) получили противоположные результаты при использовании сходной методики.

Обхи и Холл (Obhi, Hall, 2011a) наблюдали связывание у двух соагентов (агентов, совместно выполняющих задачу), которые совместно нажимали на длинную

клавишу. Испытуемых призывали присоединяться к нажатию, начатому партнером, — любой из двух партнеров мог решить нажать клавишу первым. В таких условиях эффект связывания проявлялся у обоих соагентов, однако по результатам опроса ведомые соагенты оценивали свою ответственность за действие как низкую. Ранее Строзер и коллеги (Strother et al., 2010) получили аналогичные результаты в случае, когда второй соагент не дождался клавишу до конца. Пфистер и коллеги (Pfister et al., 2014) распределили роли лидера и последователя в своем эксперименте — лидер выбирал момент нажатия клавиши, а последователь нажимал клавишу, когда слышал сигнал после движения лидера. ИС, измеренное с помощью прямых оценок интервалов, было сильнее у испытуемых-лидеров, кроме того, у лидеров наблюдалось связывание между их собственными движениями и выступающими как их результат движениями последователей. Каспар и коллеги (Caspar et al., 2018) назначали испытуемым роли командующего, исполнителя и жертвы — командующий приказывал исполнителю ударить жертву током. Авторы утверждают, что связывание, выраженное в оценках интервалов, было ослабленным как у исполнителя, так и у командующего, если он приказывал осуществить действие, а не совершал его сам. Следует учесть, что обработка оценок интервалов была нестандартной — вместо обычных разностей сравнивались сами оценки при существенном размахе в реальных интервалах между действием и сигналом (200–800 мс). Дженкинс и коллеги (Jenkins et al., 2021) предложили испытуемым поучаствовать в двух заданиях с совместными действиями: синхронном нажатии клавиш и задании с распределением ролей, где один испытуемый управлял положением компьютерной мыши, а второй управлял кнопкой мыши. В первом случае задача заключалась в синхронизации действий, а во втором — в нажатии квадрата на экране, для чего каждый испытуемый должен был выполнять свои действия. Связывание было более сильным в задаче с распределением ролей: оно не различалось значимо между совместными действиями и действиями, выполненными испытуемым в одиночку. В задаче с синхронизацией действий связывание было значимо слабее для совместных действий в сравнении с условием без партнера. Следует заметить, что в задании с синхронизацией распределение ролей лидеров и подчиненных/ведомых происходило стихийно, без соответствующего пункта в инструкции, и сила связывания у них не различалась. Вероятно, именно стихийность синхронизации привела к разнице между результатами Дженкинса и коллег и Пфистера и коллег: во втором случае роли распределялись экспериментатором. У Дженкинса и коллег имеют место те же особенности обработки результатов, что и у Каспар и коллег: вместо разностей оценок и реальных интервалов авторы рассматривают средние оценки времени.

Связывание изучалось и в ситуациях совместного внимания. Стефенсон и коллеги (Stephenson et al., 2018) использовали в качестве произвольных действий саккады, а в качестве сигнала — действие виртуального персонажа. На экране предъявлялось лицо виртуального персонажа, и в определенный момент справа от лица возникал стимул — изображение пред-

мета кухонной утвари. В «активном» условии испытуемый должен был перевести взгляд на стимул, после чего взгляд персонажа тоже направлялся на стимул, что служило в эксперименте сигналом после действия. В контрольных условиях испытуемый либо фиксировал взгляд на лице в течение всей пробы, либо переводил взгляд на стимул в присутствии набора прямоугольников вместо лица (малые прямоугольники сдвигались, будто зрачки). Интенциональное связывание, измеряемое методом воспроизведения интервалов, имело место только при совершении испытуемым саккады в присутствии виртуального лица, то есть в ситуации совместного внимания. Недостаточным для воспроизведения эффекта оказалось как чужое действие (перевод взгляда персонажем без испытуемого), так и сугубо собственное действие испытуемого без персонажа.

Приведенные выше исследования показывают, что на ИС может влиять взаимодействие с другими агентами. Например, исполнение роли начальника (подчиненного) усиливает (ослабляет) эффект, равно как и наличие или отсутствие совместного внимания в специально разработанной экспериментальной методике. Если во взаимодействии каждый испытуемый выполняет свою часть задания, что приводит к достижению результата, эффект для них будет сильнее, чем в случае менее тесного взаимодействия. Мур и Обхи (Moore, Obhi, 2012) пришли к выводу, что совместные действия — исключительный случай, когда ИС не сцеплено с наличием эфферентной информации. Вместе с тем другие исследователи занимают даже более сильную позицию: возможно, связывание возникает в отсутствие произвольного действия агента, и для него достаточно наблюдения за другим агентом или появления совместной агентности, в рамках которой действия другого более не воспринимаются как чужие. Результаты экспериментов, где изучалось связывание при наблюдении, противоречат друг другу, поэтому из них нельзя сделать однозначных выводов. Принуждение к действию и запоздалое вовлечение в совместное действие, похоже, по-разному влияют на ИС, но способность совместной агентности полностью заменить эфферентную информацию не выводится из представленных результатов по связыванию при наблюдении. В то же время собственные действия без эфферентной команды возможны с применением интерфейсов мозг-компьютер. Далее мы рассмотрим эффект в контексте совместных движений человека и машины и работы с интерфейсами.

Человеко-машинное взаимодействие

Эксперименты по изучению совместных действий не останавливаются на взаимодействии людей. Вызывают ли эффект связывания совместные действия человека и физически движущейся машины? В нескольких исследованиях такие действия были противопоставлены совместным действиям человека и компьютера. В рассмотренных далее работах связывание измерялось с помощью прямых оценок интервалов.

Обхи и Холл (Obhi, Hall, 2011b) сравнили два типа совместных движений в эксперименте, где действием было совместное нажатие тачпада. Один из агентов

осуществлял движение первым, другой же присоединялся к нему (ср. Obhi, Hall, 2011a). На деле в условии кооперации с компьютером испытуемые осуществляли движение сами — в том, что в некоторых случаях нажатие на долю секунды раньше инициировал компьютер, испытуемых убеждал экспериментатор. Эффект связывания проявлялся сильнее в условиях совместной работы двоих испытуемых, чем при взаимодействии человека и компьютера. Сахай и коллеги (Sahai et al., 2019) рассматривали социальную задачу Саймона (Sebanz et al., 2003), которую испытуемые выполняли в паре либо с другим человеком, либо с компьютерной программой. В социальной задаче Саймона каждый испытуемый реагирует на выделенный ему вид зрительного стимула (цветную точку), нажимая на свою кнопку. Реагировать на чужой стимул при этом ему не нужно: для эффективного выполнения задачи каждому испытуемому достаточно следить за своим видом стимула. На деле время реакции испытуемого зависит от того, на какой стороне экрана появился стимул — на ближней к нему или к его напарнику. Этот эффект пропадает, когда испытуемый должен реагировать на один из двух видов стимула без напарника, в таком случае не важно, в какой части экрана возникает стимул. С помощью разницы между временами реакции социальная задача Саймона позволяет изучать, как репрезентация чужого действия интерферирует с репрезентацией действия испытуемого. В эксперименте Сахай и коллег при работе с другим человеком испытуемые демонстрировали большее время реакции на стимул и значимый эффект связывания. В то же время взаимодействие с программой не порождало связывания, и испытуемые реагировали на стимулы быстрее, как если бы они выполняли задачу без напарника. Гриншпан и коллеги (Grynszpan et al., 2019) создали ситуацию, противоположную убеждению испытуемого у Обхи и Холла: испытуемый не знал, взаимодействует ли он с компьютером или другим человеком. Движением выступало совместное поворачивание «замочной скважины» указательным пальцем, при этом сила, приложенная к «скважине» одним участником, прилагалась к пальцу другого участника. В условиях взаимодействия с компьютером чужое усилие симулировалось программно для обоих испытуемых. В результате связывание было сильнее при совместных движениях с человеком, чем при кооперации с роботом, но для суждений испытуемых об агентности был получен противоположный результат.

Все три исследования указывают на то, что совместное выполнение задачи с человеком приводит к более сильному эффекту связывания, чем взаимодействие с машиной, организованное аналогичным образом. С одной стороны, эти результаты стоит воспринимать с осторожностью: следует обратить внимание на расхождение между суждениями об агентности и ИС в подобных исследованиях (Grynszpan et al., 2019; Obhi, Hall, 2011a). С другой стороны, как всегда, не исключена диссоциация между уровнями чувства агентности. Существуют разные данные о том, что социальное взаимодействие с роботами сопровождается сниженным чувством контроля и плохой координацией действий (см. Sahai et al., 2017).

В работах, описанных выше, компьютерная программа или робот выступали в качестве партнера по задаче. Человеко-машинное взаимодействие может быть выстроено иначе: машины чаще используются людьми как инструменты для выполнения задач, а не соагенты, чьи намерения нужно угадывать. Каспар и коллеги (Caspar et al., 2021) изучили ИС при управлении роботизированной рукой с помощью интерфейса мозг-компьютер. В одном блоке попыток испытуемые нажимали на клавишу своим пальцем, в другом — пальцем роботизированной руки при полной неподвижности собственной руки. Связывание, измеренное с помощью оценок интервалов, было сильнее для собственных движений при задержке между движением и сигналом в 100 мс, при задержке в 500 мс между двумя блоками отсутствовала разница, а при задержке в 700 мс связывание для собственных движений было слабее. Сила эффекта связывания коррелировала с суждениями о контроле над искусственной рукой, а также с суждениями о сложности совершения движения. Работа Каспара и коллег показывает, что связывание сопровождается произвольными действиями в отсутствие эфферентной информации и при взаимодействии с машиной. Имеются данные и о том, что связывание возникает и при иллюзии взаимодействия с интерфейсом. В условиях, когда испытуемый убежден в том, что представление движения вызывает сигнал, связывание проявится, несмотря на отсутствие реальных каузальных связей. Лопес-Сола и коллеги (Lopez-Sola et al., 2021) добились такого эффекта, побуждая испытуемых представлять действие по команде в определенный момент времени. Отсутствие возможности выбирать момент начала представления не подавило ИС, а определенность момента представления вызвала иллюзию связи между событиями. У испытуемых, которых не удавалось убедить в реальности интерфейса, эффект не наблюдался.

Эндо и коллеги (Endo et al., 2020) рассмотрели взаимодействие, где с помощью воздействия на руку испытуемого машина корректировала траекторию курсора, который испытуемый должен был направить к правильной цели. Если машина влияла на траекторию правильно, в соответствии с намерением испытуемого, то доведение курсора до цели сопровождалось ИС. Одним из вариантов совместных движений человека и машины являются активно-пассивные движения, рассмотренные Дубыниным и коллегами (Dubynin et al., 2021) в рамках новой экспериментальной методики, которая позволяет сравнивать совместные движения с произвольными движениями испытуемого в одиночку, произвольными движениями и движениями муляжа человеческой руки. В упомянутых ранее экспериментах Бьюнера (Buehner, 2012; Buehner, 2015) имело место менее слаженное взаимодействие человека и машины: испытуемый запускал машину, которая нажимала на клавишу после случайной задержки. Для прямых оценок интервалов разница между собственными движениями и движениями машины отсутствовала, но при измерении связывания с помощью «часов Либета» эффект был сильнее для собственных движений, хотя и присутствовал в случае движений машины. Вне зависимости от того, объясняется ли связывание

в данном случае остаточной агентностью после включения машины или же происходит благодаря причинной связи между действием и сигналом, подобный вид человеко-машинного взаимодействия порождает связывание во времени.

Есть основания считать, что совместные действия человека и машины, где машина выступает в роли полноценного соагента, а не инструмента, вызывают менее сильное ИС, чем совместные действия двух людей, — или не вызывают его вовсе. Если же взаимодействие осуществляется не на равных, а человек управляет машиной или машина помогает ему успешно совершить задуманное действие, то связывание оказывается более сильным. Особенно перспективным для дальнейшего изучения связывания выглядит использование интерфейсов мозг-компьютер, поскольку оно позволяет исследовать эффект без совершения испытуемым движений, что является крайне важным для понимания принципов и механизмов, стоящих за ИС. Имеющиеся данные позволяют предположить, что механизм, основанный на компараторной модели чувства агентности, не является единственным или достаточным объяснением эффекта.

Факторы, влияющие на ИС

Для того, чтобы определить единство интенционального связывания как эффекта, необходимо изучать влияние на него тех или иных экспериментальных условий. Как мы увидим дальше, влияние на связывание нагрузки на испытуемого и задержек между действием и сигналом является неодинаковым для разных методик измерения. Влияние модальности сигнала и значения сигнала для испытуемого, с другой стороны, является важным источником данных для решения вопроса о вкладе низкоуровневых и высокоуровневых процессов в эффект связывания.

Задержка между действием и сигналом

Сообщения о влиянии длины временного интервала между действием и сигналом на ИС существенно разнятся. Согласно одним авторам, с ростом задержки связывание быстро падает (Cravo et al., 2011; Haggard et al., 2002b; Imaizumi, Tanno, 2019; Ruess et al., 2017; Ruess et al., 2018). Другие авторы, наоборот, обнаруживали усиление эффекта с ростом задержки или его проявление без значимой разницы в силе (Dewey, Knoblich, 2014; Humphreys, Buehner, 2009; Kühn et al., 2013; Vastano et al., 2017; Wen et al., 2015b). Хамфрис и Бьюнер (Humphreys, Buehner, 2009) наблюдали эффект для задержек продолжительностью в 4 секунды. У этого видимого противоречия есть предположительное объяснение, связанное с разницей в экспериментальных методиках. Эффект связывания спадал при увеличении интервала в экспериментах, где использовались «часы Либета» — например, у Хаггарда и коллег (Haggard et al., 2002b) и Руэсс и коллег (Ruess et al., 2017; Ruess et al., 2018), — или суждения об одновременности событий — у Краво и коллег (Cravo et al., 2011). В работе Руэсс и коллег 2017 года (Ruess et al., 2017) связывание усиливалось при увеличении

задержки от 100 до 250 мс и ослаблялось при задержке в 400 мс.

В экспериментах с оценками или воспроизведением интервалов связывание усиливалось или не ослаблялось при увеличении задержек. Исключением служит эксперимент Имаизуми и Танно (Imaizumi, Tanno, 2019): авторы использовали методику с оценкой интервалов, но обнаружили значимое уменьшение связывания между задержками в 100 мс, 300 мс, 500–700 мс и 900 мс, хотя сам эффект связывания оставался значимым при любых задержках. Следует учесть, что для сравнения силы интенционального связывания Имаизуми и Танно рассматривали отношения субъективных оценок в «активном» условии и усредненных оценок интервала в контрольном условии без действия — эта процедура отличается от общепринятого сравнения разностей между оценками и реальными интервалами. Элементы методик указанных выше экспериментов приведены в таблице 2.

Одно из объяснений ослабления эффекта заключается в том, что само чувство агентности затухает при увеличении задержки между действием и его результатом. Проверить это положение напрямую сложно, особенно если речь идет о низкоуровневой агентности в контексте компараторной модели. Однако говорят ли об ослаблении агентности по мере увеличения исследования высокоуровневых суждений об агент-

ности? Действительно, существуют данные о том, что при увеличении задержки испытуемые менее охотно высказывают суждения об агентности (Ebert, Wegner, 2010; Minohara et al., 2016; Sato, Yasuda, 2005; Wen et al., 2015b). Однако в своем обзоре литературы Вэн (Wen, 2019) утверждает, что высокоуровневое чувство агентности способно подстраиваться под длинные задержки, особенно если ситуация является новой для агента — например, если он был ознакомлен с задержкой между причиной и следствием в рамках эксперимента. Чувство агентности особенно зависит от предсказуемости задержки, а ее величина играет роль тогда, когда задержка, выставленная по умолчанию, является привычной.

Представленные работы, имеющие дело с влиянием задержки между действием и сигналом на ИС, позволяют сделать некоторые выводы о характере этого влияния. Увеличение задержки приводит к ослаблению связывания, если испытуемые фиксируют время события по «часам Либета» или выносят суждение об одновременности событий. По-видимому, эта тенденция проявляется при задержках более 250 мс: согласно Руэсс и коллегам, при сверхкоротких задержках в 100 мс, которые редко используются в экспериментах, связывание тоже слабеет. Тенденция к ослаблению показана как для суммарного связывания, так и для сдвигов сигнала отдельно — про сдвиги действия

Таблица 2. Исследования влияния задержки на ИС

Работа	Метод измерения ИС	Задержки в мс	Смена задержек	Тип сигнала	Ослабление ИС с увеличением задержки
Haggard et al., 2002	«Часы Либета»	250–650	По блокам	Звук	+
Humphreys, Buehner, 2009	Оценка интервала	150–4000	Вперемешку	Звук	–
Cravo et al., 2011	Суждение об одновременности	300–600	По блокам	Звук	+
Kühn et al., 2013	Оценка интервала	200–400	Вперемешку	Звук	–
Dewey, Knoblich, 2014	Воспроизведение интервала	200–1200	Вперемешку	Звук	–
Wen et al., 2015	Оценка интервала	0–1000	Вперемешку	Начало движения стимула	–
Ruess et al., 2017	«Часы Либета»	100–400	Вперемешку	Звук	+
Vastano et al., 2017	Оценка интервала	200–400	Вперемешку	Звук	–
Ruess et al., 2018	«Часы Либета», сдвиг сигнала	150–650	По блокам	Звук и визуальный сигнал	+
Imaizumi, Tanno, 2019	Оценка интервала (нетипичная обработка данных)	100–900	Вперемешку	Звук и визуальный сигнал	+

похожих сведений в литературе не наблюдается. Обратная ситуация складывается, если испытуемые обращают внимание на интервалы между событиями и измеряют их — сила связывания в таком случае возрастает с задержкой или не меняется. Методика с воспроизведением интервалов предполагает задержки больше секунды. В целом разница между методиками измерения связывания хорошо заметна при изменении задержек между действием и сигналом.

Физическая и когнитивная нагрузка

Интенциональное связывание — это сближение во времени действия агента и вызываемого им результата. Одна из основных черт любого действия — сопротивление среды при его выполнении, и есть основания полагать, что сила этого сопротивления способна влиять на чувство агентности. Лафарг и Франк (Lafargue, Franck, 2009) предполагают, что нарушения чувства агентности и контроля над действием у пациентов с шизофренией связаны с измененным восприятием прилагаемого усилия. Бейн и Леви (Bayne, Levy, 2006) постулируют, что ощущение усилия является одним из основных компонентов феноменологии агентности. Минохара и коллеги (Minohara et al., 2016) показали, что испытуемые чаще приписывали себе причинную роль по отношению к действию при наличии осознаваемого усилия. Сидарус и Хаггард (Sidarus, Haggard, 2016) выявили снижение оценок в баллах, отражающих суждения о контроле в случае принятия сложных решений, а также предположили, что влияние нагрузки может определяться ее предсказуемостью. Каким образом величина и характер усилия влияет на ИС?

В работе Демане и коллег (Demanet et al., 2013) ИС ослабевало при повышенной физической нагрузке, не относящейся к задаче. Испытуемые выполняли произвольное нажатие клавиши, оттягивая эластичную ленту другой рукой. Авторы обнаружили, что эффект связывания усиливается при наличии такой нагрузки. Попытавшись обобщить результаты Демане и коллег, Ховард и коллеги (Howard et al., 2016) также изучили влияние нагрузки на ИС. В их эксперименте в разных блоках испытуемые прилагали два вида физического усилия — как относящееся, так и не относящееся к задаче, а также умственное усилие в форме параллельной действиям задачи на запоминание. Как и у Демане и коллег, физическая нагрузка достигалась с помощью эластичной ленты, но в блоке с релевантной нагрузкой испытуемый оттягивал эту ленту, чтобы нажать на клавишу. Ховард и коллеги получили результаты, противоречащие данным Демане и коллег: при нагрузке любого характера связывание ослабевало. Ван ден Буше и коллеги (Van den Bussche et al., 2020) изучили, как на связывание и суждения об агентности влияет когнитивная нагрузка, непосредственно относящаяся к решаемой испытуемыми задаче. Авторы выявили, что повышение когнитивного контроля при решении задачи усиливает суждения агента о его причинной роли в результате, но не нашли значимого эффекта в отношении ИС.

По-видимому, противоречие между результатами Демане и коллег и Ховарда и коллег объясняется разницей между методиками. В своем эксперименте первые использовали «часы Либета», а вторые ставили перед испытуемыми задачу воспроизведения интервала между событиями, как позднее и Ван ден Буше и коллеги. Возможно, нагрузка оказывает противоположное влияние на эффект в отличных методиках из-за разницы в распределении внимания испытуемого или из-за других особенностей конкретных задач. Так или иначе, на данный момент не приходится говорить о единообразном влиянии физической и когнитивной нагрузки на ИС.

Модальность сигнала

Сигналы, предъявляемые испытуемым в разных экспериментах по изучению ИС, различались по модальности. В подавляющем большинстве случаев сигнал был звуковым, как и у Хаггарда и коллег (Haggard et al., 2002b). Позже Энгберт и коллеги (Engbert et al., 2007) наблюдали связывание для визуальных сигналов, далее оно возникало и в других экспериментах (Imaizumi, Tanno, 2019; Ruess et al., 2018). Также существуют работы, где сигнал представлял собой разные виды соматической стимуляции. Цакирис и Хаггард (Tsakiris, Haggard, 2003) подтвердили наличие связывания, если сигналом выступало движение пальца руки, инициированное ТМС. Конг и коллеги (Kong et al., 2017) наблюдали связывание при тактильной стимуляции, а Бек и коллеги (Beck et al., 2017) и Борхани и коллеги (Borhani et al., 2017) получили эффект при электрической стимуляции и подводе тепла к руке испытуемого.

Однако метаанализ, проведенный Танакой и коллегами (Tanaka et al., 2019), выявил различия для ИС в разных модальностях — хотя авторы признали, что исследований с визуальными и соматическими сигналами было мало. Согласно метаанализу, связывание действия со звуковым сигналом более устойчиво. Кроме того, авторы обнаружили значимость сдвига действия только для тех экспериментов, где сигнал был звуковым по модальности, — для других модальностей значимым был только сдвиг сигнала. В экспериментах, где сигналы разных модальностей сопоставлялись напрямую, проявилась та же закономерность. В экспериментах Руэсс и коллег (Ruess et al., 2018) и Имаизуми и Танно (Imaizumi, Tanno, 2019) связывание между действиями и зрительными сигналами было более слабым, чем в случае звуковых сигналов. Энгберт и коллеги (Engbert et al., 2008) выявили разницу в силе связывания, если тактильные или зрительные сигналы дополняли звуковые: эффект был сильнее, если сигнал был только звуковым. Танака и коллеги подмечают, что разница, обнаруженная для разных модальностей, может говорить о несводимости ИС к каузальным представлениям испытуемых. Следует признать, что данные о роли модальности сигнала по-новому демонстрируют вклад низкоуровневых процессов в эффект связывания. Возможно, в будущем будет протестирована сила эффекта связывания для разных модальностей сигнала в рамках различных методик — в отношении модальностей анализ Танаки и коллег не различал работы с применением «часов Либета» и измерением

интервалов. Данные, полученные на сегодняшний день, свидетельствуют о предпочтительности звуковых сигналов в тех исследованиях, где не изучается влияние модальности сигнала на эффект.

Валентность сигнала

На сегодня нет ясной картины того, модулируется ли интенциональное связывание предпочтительностью сигнала для испытуемого. Исследования суждений об агентности свидетельствуют, что людям свойственна эгоистическая погрешность («self-serving bias»), то есть при прочих равных они менее склонны принимать ответственность за негативные события (Mezulis et al., 2004), а случае успешного достижения желаемого результата люди, наоборот, более склонны высказывать суждения об агентности (Villa et al., 2018; Wen et al., 2015a). Изучение влияния валентности результата действия на ИС вновь осложняется двойственностью выводов. С одной стороны, отсутствие влияния может говорить о том, что ИС не является жестким неявным коррелятом агентности. С другой стороны, закономерности, прослеженные в суждениях об агентности, не обязаны распространяться на низкоуровневое ощущение агентности.

Такахата и коллеги (Takahata et al., 2012) рассмотрели влияние на связывание исходов взаимодействия с импровизированным игровым автоматом, которые вели к прибыли или же финансовым потерям. Финансово невыгодные результаты вызывали как значимо более слабые сдвиги действия, так и более слабые сдвиги сигнала. Согласно Йоши и Хаггарду (Yoshie, Haggard, 2013), эмоционально негативные результаты — сигналы в виде враждебных человеческих вокализаций — приглушают суммарное связывание по «часам Либета». Похожие результаты были получены и для разницы между более и менее болезненными стимулами. Согласно Бек и коллегам (Beck et al., 2017), сдвиг сигнала зависит от интенсивности болевого сигнала — в эксперименте сдвиг был сильнее при менее болезненной стимуляции. Вместе с тем следует упомянуть статистически более мощное, чем у Йоши и Хаггарда, исследование Мортон и коллег (Moreton et al., 2017). Оно не выявило различий для откликов с разной эмоциональной окраской, в том числе авторы не реплицировали результаты Йоши и коллег.

Кристенсен и коллеги (Christensen et al., 2016) совместили методики Йоши и Хаггарда и Мура и Хаггарда (Moore, Haggard, 2008): в их эксперименте разные звуковые вокализации сопровождали действие с вероятностью 75 % в одном блоке и 50 % — в другом. Изменяемый в эксперименте сдвиг действия сильнее всего проявился тогда, когда сигнал был положительным, но его подача была малопредсказуемой. В обсуждении результатов авторы ссылались на эгоистическую погрешность, которая работает на восприятие действия ретроспективно — следуя интерпретации, именно благодаря ей сдвиг действия оказался сильнее для непредсказуемых положительных результатов.

Исследования с эмоционально нейтральными звуками разной предсказуемости, наоборот, показывают независимость эффекта от типа сигнала. Десантис и коллеги (Desantis et al., 2012) проверили влияние типа

сигнала на сдвиг сигнала и не обнаружили разницы для звуков разных частот. В то же время Барлас и Обхи (Barlas, Obhi, 2014) наблюдали разницу в силе сдвига сигнала между действием и консонансным или диссонансным аккордом у испытуемых из западных культур, но подобная разница отсутствовала у испытуемых не западного происхождения. Хэринг и Кисел (Haering, Kiesel, 2014) и Майхрович и Вежхонь (Majchrowicz, Wierzchoń, 2018) получили аналогичные данные о том, что вид сигнала не влияет на сумму сдвигов действия и сигнала, отдельно на сдвиг действия и прямые оценки интервалов. Майхрович и Вежхонь сообщают, что неожиданный сигнал усиливает связывание по «часам Либета», только если неожиданной была его задержка, но не тип.

Не исключено, что влияние на ИС оказывает не сам тип сигнала, но его роль в задаче, поставленной перед испытуемым. У Йоши и Хаггарда тип сигнала не был связан с какими-либо значимыми сведениями: разные эмоциональные отклики следовали за одинаковым нажатием клавиши без иных последствий, говорящих об успешности выполнения действия. Возможно, валентность сигнала модулирует связывание, только если типы сигналов имеют реальные последствия для испытуемого. Результаты Барлас и Обхи говорят в пользу того, что субъективная значимость типа сигнала во многом определяется личными особенностями испытуемых. Также остается вероятным, что связывание модулируется взаимодействием валентности сигнала и предсказуемости его типа, но сила эффекта не модулируется валентностью в отдельности. Влияние валентности сигнала в эксперименте на силу связывания может быть очередным свидетельством в пользу вклада высокоуровневых процессов в эффект, но его трудно проинтерпретировать однозначно: мы не знаем, как валентность результата влияет на низкоуровневое чувство агентности.

Структура ИС

Ранее мы имели дело с различными факторами, оказывающими влияние на интенциональное связывание. Многообразие этих факторов свидетельствует о том, что за ИС стоят разные внутренние и внешние источники информации и как низкоуровневые, так и высокоуровневые процессы. Влияние наличия эфферентной команды к действию и корреляция с потенциалом готовности, изменение силы эффекта в связи с модальностью сигнала, различие связывания при взаимодействии с человеком и с машиной в условиях незнания о природе соагента — вот основные факты, говорящие в пользу низкоуровневого происхождения ИС. Влияние представлений испытуемых о причинах событий, социального контекста и валентности сигнала как результата действия говорят в пользу частично высокоуровневой природы связывания. Наличие ИС в эксперименте с произвольным действием, осуществляемым с помощью интерфейса мозг-компьютер, свидетельствует о необязательности эфферентной команды для возникновения эффекта. По-видимому, наличие и сила эффекта зависят от того, как мозг агента совмещает са-

мые разные источники информации о мире и о самом агенте. В некоторых работах ИС, как и чувство агентности, рассматривается через призму байесовской интеграции разнородных сигналов (Lush et al., 2019; Moore et al., 2009b; Wolpe et al., 2013).

Некоторые эксперименты иллюстрировали положительную работу интеграции сигналов с помощью изменения вероятностей и зашумленности событий в эксперименте. Предполагается, что байесовская интеграция сигналов имеет разный вывод в зависимости от надежности событий как сигналов и зависит от предиктивных и постдиктивных процессов — предсказаний о сигнале и изменения представлений после сигнала или его отсутствия. Мур и Хаггард (Moore, Haggard, 2008) провели исследование, посвященное субъективному сдвигу момента действия во времени. В эксперименте испытуемые вызывали звуковой сигнал своим действием с некоторой вероятностью, которая равнялась 50 % и 75 % в разных блоках проб. Сдвиг действия всегда наблюдался, если за действием следовал звук, но он присутствовал и в попытках без сигнала при 75 %-ной вероятности звука. Авторы объяснили результат взаимодействием предиктивных и постдиктивных процессов в восприятии действия. Если испытуемый был заранее достаточно уверен, что действие вызовет сигнал, то это влияло на восприятие действия предиктивно, и наличие звука в данной попытке мало влияло на наличие сдвига. Если же звук сопровождал действие при любом уровне предсказуемости, то восприятие действия изменялось постдиктивно, уже после его совершения. В другой работе Мура и коллег (Moore et al., 2009a) в разных пробах звуковой сигнал мог либо сопровождать действие, либо подаваться случайно, либо не звучать после действия. Если вероятность подачи сигнала до совершения испытуемым действия была высока (75 %), действие субъективно сдвигалось только в тех случаях, когда за ним следовал сигнал. Если же сигнал редко звучал без действия (25 %), то есть его связь с действием была предсказуемой, действие смещалось в будущее даже в том случае, если сигнал не звучал. Таким образом, авторы подкрепили сделанные ранее выводы: в ситуации высокой предсказуемости последствия действия сдвиг действия может обеспечиваться уже этой предсказуемостью, но, если действие вызвало неожиданный эффект, он все равно влияет на сдвиг действия постфактум. Вольпе и коллеги (Wolpe et al., 2013) обнаружили, что на сдвиг действия влияет различимость звукового сигнала на уровне шума — повышение зашумленности сигнала значительно уменьшило сдвиг действия, что также объясняется влиянием постдиктивного процесса.

Какой фактор дает наибольший вклад в связывание? Мера, в которой разные процессы определяют эффект, не поддается расчету при предпринятом здесь сравнении экспериментов. Ответить на этот вопрос помогут дальнейшие исследования. Самым важным условием, похоже, представляется произвольность действия. Связывание при отсутствии какого-либо собственного движения испытуемого было показано в ограниченном количестве работ: в условиях наблюдения за другим агентом (Poonian, Cunningham, 2013; Wohlschläger et al., 2003), при участии в совместном

действии без внесения своего вклада (Strother et al., 2010), при манипуляции с представлениями испытуемых о причине сигнала (Dogge et al., 2012) и при просмотре записей собственных движений в виртуальном пространстве с тактильной стимуляцией (Suzuki et al., 2019). Во всех случаях остается неочевидным влияние условий на само чувство агентности, которое не обязательно должно быть жестко связанным с произвольностью действия. В работах Бьюнера и Хамфрис, пытавшихся доказать, что связывание возникает между причиной и следствием, испытуемые запускали машину произвольным движением, поэтому их работы не входят в список. Вопросом об основе связывания ранее занимались другие авторы. В своем обзоре исследований сенсорной аттенуации и ИС Хьюз и коллеги (Hughes et al., 2013) рассмотрели эксперименты, где для расчетов связывания применялись «часы Либета». Авторы выделили четыре основных фактора, потенциально способных влиять на сдвиг сигнала (результата действия): предсказуемость момента подачи сигнала, контролируемость этого момента времени, предсказуемость типа сигнала безотносительно действия и предсказуемость типа сигнала на основе вида совершенного действия. Хьюз и коллеги пришли к выводу, что сдвиг сигнала в рамках ИС вероятнее всего определяется вторым фактором — наличием у испытуемого контроля над моментом подачи сигнала. Авторы также указали, что представления испытуемого о причинности оказывают большое влияние на эффект.

Во многом опираясь на теоретический аппарат, введенный Хьюзом и коллегами, Танака и коллеги (Tanaka et al., 2019) решили включить в свой метаанализ результаты, касающиеся не только сдвига результата, но и сдвига действия во времени, а также рассмотреть эксперименты, где испытуемые оценивали интервалы в уме. Метаанализ, проведенный на материале 78 исследований ИС, показал значимость связывания для методик с «часами Либета» и с прямой оценкой интервалов, а также отдельно подтвердил отдельную значимость сдвигов действия и сигнала в экспериментах с «часами». Другие методики авторы не учитывали по причине небольшого числа работ с их применением. В целом эффект связывания оказался более надежным в случае методик с «часами Либета». Танака и коллеги пришли к выводу, что сдвиг сигнала возможно объяснить предсказуемостью момента звучания сигнала, а не наличием контроля у испытуемого над этим моментом. Таким образом, авторы называют причиной сдвига сигнала первый фактор, постулированный Хьюзом и коллегами, а не второй. Примечательно, что зависимость от контроля над моментом сигнала Танака и коллеги обнаружили у сдвига действия, то есть именно сдвиг действия явно зависел от произвольности движения. При этом сдвиг сигнала оказался статистически более сильным эффектом, чем сдвиг действия, и сдвиг сигнала сильнее коррелировал с наличием связывания как такового. Между двумя видами сдвигов наблюдалась слабая корреляция, что может также свидетельствовать об их относительной независимости.

В целом единство эффекта интенционального связывания вызывает сомнения. Задержка между дей-

ствием и сигналом, а также физическая или когнитивная нагрузка на испытуемого по-разному влияют на связывание, измеренное с помощью «часов Либета» и прямой оценки или воспроизведения интервалов. Эффект зависит от способа его измерения, а связывание, измеренное с помощью «часов Либета», состоит из двух отдельных сдвигов, которые, согласно Танака и коллегам, отражают разные факторы. В итоге стоит остановиться на том, что ИС является семейством близких эффектов, хотя степень их похожести должны определить дальнейшие исследования. Но является ли какой-либо из способов измерения ИС показателем чувства агентности? В особых случаях ИС возникает без произвольного действия испытуемого, поэтому оно коррелирует не только с чувством агентности. С другой стороны, обстоятельства, в которых оно выявляется без движения испытуемого, являются непростыми в рамках дискуссии об опыте агентности, как мы увидим далее. Вдобавок ИС без произвольных движений было воспроизведено не для всех способов измерения, поэтому мы не можем отказать всем вариантам эффекта в эксклюзивной корреляции с чувством агентности. В следующем разделе на основании полученных сведений мы сформулируем рекомендации, которые помогли бы проводить более корректные исследования эффекта ИС. Кроме того, рассмотренная литература оставляет нас с нерешенными проблемами и концептуальными трудностями. Помимо рекомендаций, далее мы опишем «белые пятна» в области и более серьезные проблемы, препятствующие развитию исследований.

Обсуждение

Какие уроки будущие исследователи ИС и его соотношения с чувством агентности могут извлечь из рассмотренной выше литературы? Для начала многообразие методик для измерения ИС приводит к вопросу о том, какая из них является предпочтительной на практике. На основании как множества отдельных работ, так и метаанализа Танаки и коллег (Tanaka et al., 2019) мы считаем, что при прочих равных оригинальный вариант методики с «часами Либета» и звуковыми сигналами является наиболее стабильным и информативным, а также наименее противоречивым. Особый интерес представляет отдельный расчет сдвига движения и сдвига сигнала — на сегодняшний день только этот вариант методики позволяет осуществить такое различие. В качестве показателя чувства агентности среди вариантов эффекта наиболее перспективным следует назвать сдвиг действия, поскольку метаанализ Танаки и коллег сопоставляет его с контролем над моментом подачи сигнала, а не с его предсказуемостью. Основными недостатками варианта методики с «часами Либета» следует назвать удержание внимания испытуемого на часах и удвоение экспериментальных условий для рассмотрения двух сдвигов и их суммы. Поэтому в тех экспериментах, где взгляд испытуемого должен быть свободен или количество условий не может быть удвоено, приоритетными становятся методики с прямой оценкой временных интервалов или их воспроиз-

ведением. О других вариантах методики известно достаточно мало, поэтому исследования с их привлечением наиболее практично проводить, включая в эксперимент их сравнение с одним из трех более устоявшихся вариантов.

Другое замечание, которое мы считаем нужным сделать на основании проанализированной литературы, касается обработки данных. В некоторых работах вместо обыкновенных разностей между субъективными и реальными интервалами или моментами событий авторы используют оригинальные процедуры обработки (Caspar et al., 2018; Ebert, Wegner, 2010; Imaizumi, Tanno, 2019), которые не позволяют сравнить полученные результаты с данными из других работ. Чтобы не усложнять сравнение результатов, мы считаем, что исследователям следует либо использовать стандартные процедуры обработки, либо приводить их в дополнение к авторским. Интенциональное связывание — это сложный эффект с неоднозначной интерпретацией, и совмещение результатов многих исследований необходимо для его объяснения.

Третье замечание относится к учету разных факторов, влияющих на ИС. Альтернативные объяснения эффекта связывания ставят исследователя перед необходимостью помнить о них при планировании экспериментов по изучению чувства агентности. Согласно интерпретации Бьюнера и Хамфрис (Buehner, 2012; Buehner, 2015; Buehner, Humphreys, 2009), эффект сближения во времени возникает между любыми двумя событиями, между которыми испытуемый ясно видит причинно-следственную связь. Пусть эта интерпретация и не позволяет объяснить влияние на эффект множества других факторов, но тот факт, что наличие или отсутствие видимой каузальной связи оказывает значимое влияние, следует учитывать при разработке экспериментальных условий, контрастирующих с произвольными движениями. Когда испытуемый не действует самостоятельно, между событием, заменяющим действие, и следующим за ним сигналом испытуемому должна видаться каузальная связь. Согласно второй альтернативной интерпретации эффекта (Kirsch et al., 2019; Tanaka et al., 2019), связывание возникает благодаря высокой предсказуемости событий, происходящих при совершении произвольного движения. Сделать поправку на предсказуемость оказывается сложнее: похоже, на нее во многом опирается само чувство агентности. Мы заранее знаем, когда совершим произвольное движение, и не можем сказать того же самого о других событиях, если им не предшествуют подсказки. Однако использование подсказок в условиях без произвольного движения создает неучтенную разницу между условиями. С другой стороны, если подсказки предвещают произвольное движение, значит, оно совершается по команде и не является в полной мере произвольным: испытуемый не решает, когда его совершать. В итоге исключить предсказуемость событий как фактор — непростая задача, для которой пока не предложено полноценного решения. Вероятно, здесь имеет место принципиальное ограничение методики.

Среди множества вопросов об ИС, на которые не дает ответов имеющаяся литература, возможно выде-

лить наиболее перспективные для будущих исследований. Для менее известных способов измерения ИС на сегодняшний день не был получен эффект в отсутствие собственного действия испытуемого. Там, где ИС возникало без собственного действия, оно измерялось с помощью «часов Либета», оценки и воспроизведения интервалов. Если для какого-либо из вариантов методик эффект не воспроизведется без движения испытуемого, этот вариант придется признать наиболее соответствующим роли показателя чувства агентности. Большой интерес представляет и сама проблема близости вариантов эффекта, измеренных разными способами. Выше мы неоднократно указывали на противоречивые результаты отдельных экспериментов, которые показывали разное влияние тех или иных факторов (например, задержки между действием и сигналом) на эффект. Однако наиболее оптимальное сравнение способов измерения обеспечили бы эксперименты, где применяются по крайней мере два способа, что позволит сделать заключения о схожести вариантов эффекта и возможности обобщения тех или иных результатов. Например, особенно информативным было бы исследование, где для нескольких способов измерения связывания вычислялась бы корреляция эффекта с суждениями об агентности. Нам не следует исключать предположительную диссоциацию между уровнями чувства агентности, но резонным было бы предположить, что обычно суждения агентности выносятся на основании ощущения агентности. Если для некоторых способов измерения корреляция с суждениями об агентности будет более воспроизводимой, это покажет более тесную связь этих вариантов ИС с чувством агентности. Ценным для развития области было бы использование в качестве дополнительных способов измерения малоизученных вариантов методики — например, суждений об одновременности (Cravo et al., 2011) или порядке событий (Haering, Kiesel, 2012).

Продолжения развития в скорейшем времени требует и другое направление исследований. Обширная часть литературы указывает на множественность факторов, оказывающих влияние на эффект. Как правило, в подобных работах изучается влияние какого-то одного фактора и фиксируется значимость его влияния на ИС. Эксперименты, рассматривающие эффект связывания в рамках модели интеграции сигналов, позволили бы количественно показать, каким образом самые разные факторы — задержка, предсказуемость или валентность сигнала; физическая и когнитивная нагрузка — взаимодействуют друг с другом и какова степень их влияния на эффект. Также малоизученным остается вопрос о том, каким образом ИС проявляется в случаях промежуточной вовлеченности испытуемого в действие или при разных градациях контроля испытуемого над результатом действия. Например, возникает ли связывание в условиях, когда человек инициирует действие, но до конца его доводит машина, и что происходит с эффектом в обратном случае? Данной проблеме было посвящено наше предыдущее исследование эффекта (Dubynin et al., 2021), но оно не позволило в достаточной степени охватить эту тему. Методики с промежуточной степенью участия человека в действии образуют мост между изучением совместной

агентности и обычных произвольных движений человека.

Наконец, по итогам анализа мы можем сформулировать некоторые концептуальные трудности, с которыми сталкиваются исследования ИС. Они относятся к самому чувству агентности, показателем которого предположительно является ИС. Во многом они возникают из-за интроспективного «ускользания» (Bayne, 2015) низкоуровневой агентности. Кажется, мы не способны фиксировать содержание своего опыта во время совершения действий так же легко, как в случае зрительного восприятия. В первом разделе мы обозначили несогласие разных авторов в вопросе о существовании непосредственного опыта совершения агентом действия (ощущения агентности). Важную роль при интерпретации эмпирических результатов играют представления конкретных авторов работы о существовании ощущения агентности и о том, возможна ли диссоциация между низким и высоким уровнем чувства агентности. Мы не можем сказать с достаточной уверенностью, обязано ли переживание ощущения агентности приводить к вынесению соответствующих суждений об агентности. Поэтому расхождение между суждениями об агентности и ИС возможно как списать на диссоциацию между уровнями чувства агентности (Dewey, Knoblich, 2014), так и посчитать аргументом в пользу отсутствия жесткой корреляции между ИС и чувством агентности (Suzuki et al., 2019).

Похожая неоднозначность результатов возникает и при изучении совместной агентности. Совместные действия, совершаемые двумя испытуемыми, не всегда сопровождаются суждениями об агентности в присутствии ИС (Obhi, Hall, 2011a). Более того: связывание наблюдается при фактическом отсутствии вклада испытуемого в «общее» действие (Strother et al., 2010). Кажется, такой случай не объясняется диссоциацией уровней чувства агентности, но тезис о жесткой корреляции ИС с чувством агентности защищают работы, посвященные феноменологии совместных действий (Pacherie, 2014): возможно, при их совершении образуется «мы-идентичность», вмещающая обоих участников как соавторов действия. С одной стороны, появление «мы-идентичности» может оказаться достаточным для возникновения ощущения агентности у обоих соагентов, а с другой стороны, ИС может отражать не наличие ощущения агентности, а что-то еще. Выше мы видели, что имеют место и более неудобные результаты: в некоторых условиях ИС сопровождается наблюдением действий, совершаемых другим человеком (Poonian, Cunnington, 2013; Wohlschläger et al., 2003). В дискуссии об опыте агентности существует вопрос о том, представлено ли в опыте агента то, что лично он выполняет действие. Согласно одному подходу, ощущение себя «источником действий» является важной частью опыта агентности (Horgan et al., 2003). Альтернативный подход утверждает, что я способен ощущать лишь действие или намерение как таковое, но приписываю его себе уже на уровне суждений (Jeannerod, Pacherie, 2004) — так, ощущение агентности является ощущением действия вообще. В итоге неоднозначность экспериментальных результатов указывает на сложную философскую проблему содержа-

ния опыта агентности, совместной агентности и опыта при восприятии чужих движений. Мы считаем, что сделать окончательный выбор между интерпретациями на данный момент сложно. Однако, приняв к вниманию ситуации с совместными и чужими действиями, в которых возникает ИС, мы полагаем, что эта двойственность с большей вероятностью свидетельствует о корреляции между ИС и опытом при восприятии намеренных действий вообще. Разница между этим выводом и утверждением о том, что ИС является показателем чувства агентности, будет зависеть от различий между осведомленностью о собственных действиях и осведомленностью о действиях как таковых.

Заключение

Данная работа была посвящена современным исследованиям интенционального связывания — предположительного коррелята чувства агентности. На основании изученной литературы мы сделали набор выводов об условиях возникновения ИС. ИС зависит от набора низкоуровневых и высокоуровневых факторов, многие из которых уже открыты экспериментально. Возникновение и сила эффекта связывания зависят от способа измерения и других деталей экспериментальной методики. Поскольку возможное содержание опыта агентности является предметом дискуссии, а ИС возникает в самых разных обстоятельствах, на сегодняшний день вопрос о соотношении между ними остается открытым. По итогам сравнения множества работ мы также сформулировали набор рекомендаций, призванных помочь в планировании экспериментов, и очертили наиболее перспективные направления исследований эффекта. В области существуют и концептуальные трудности: чтобы сделать окончательные выводы о соотношении между чувством агентности и интенциональным связыванием, требуется прояснение места опыта агентности в многообразии ментальных состояний.

Литература

- Barlas Z., Hockley W.E., Obhi S.S. The effects of freedom of choice in action selection on perceived mental effort and the sense of agency // *Acta Psychologica*. 2017. Vol. 180. P. 122–129. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2017.09.004>
- Barlas Z., Obhi S.S. Cultural background influences implicit but not explicit sense of agency for the production of musical tones // *Consciousness and Cognition*. 2014. Vol. 28. P. 94–103. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2014.06.013>
- Bayne T. Introspective insecurity // *Open MIND* / T.K. Metzinger, J.M. Windt (Eds.). Frankfurt am Main: MIND Group, 2015. URL: <https://open-mind.net/papers/introspective-insecurity>. <https://doi.org/10.15502/9783958570214>
- Bayne T. The phenomenology of agency // *Philosophy Compass*. 2008. Vol. 3. No. 1. P. 182–202. <https://doi.org/10.1111/j.1747-9991.2007.00122.x>
- Bayne T., Levy N. The feeling of doing: Deconstructing the phenomenology of agency // *Disorders of Volition* / N. Sebanz, W. Prinz (Eds.). MIT Press, 2006. P. 49–68. <https://doi.org/10.7551/mitpress/2457.003.0004>
- Bayne T., Pacherie E. Narrators and comparators: The architecture of agentive self-awareness // *Synthese*. 2007. Vol. 159. No. 3. P. 475–491. <https://doi.org/10.1007/s11229-007-9239-9>
- Beck B., Di Costa S., Haggard P. Having control over the external world increases the implicit sense of agency // *Cognition*. 2017. Vol. 162. P. 54–60. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2017.02.002>

- Blakemore S.J., Wolpert D., Frith C. Why can't you tickle yourself? // *NeuroReport*. 2000. Vol. 11. No. 11. P. R11–R16. <https://doi.org/10.1097/00001756-200008030-00002>
- Borhani K., Beck B., Haggard P. Choosing, doing, and controlling: Implicit sense of agency over somatosensory events // *Psychological Science*. 2017. Vol. 28. No. 7. P. 882–893. <https://doi.org/10.1177/0956797617697693>
- Botvinick M., Cohen J. Rubber hands 'feel' touch that eyes see // *Nature*. 1998. Vol. 391. No. 6669. P. 756–756. <https://doi.org/10.1038/35784>
- Braun N., Debener S., Spychala N., Bongartz E., Sörös P., Müller H.H.O., Philipsen A. The senses of agency and ownership: A review // *Frontiers in Psychology*. 2018. Vol. 9. P. 535:1–17. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.00535>
- Braun N., Thorne J.D., Hildebrandt H., Debener S. Interplay of agency and ownership: The intentional binding and rubber hand illusion paradigm combined // *PLoS ONE*. 2014. Vol. 9. No. 11. P. e111967:1–10. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0111967>
- Buehner M.J. Understanding the past, predicting the future: Causation, not intentional action, is the root of temporal binding // *Psychological Science*. 2012. Vol. 23. No. 12. P. 1490–1497. <https://doi.org/10.1177/0956797612444612>
- Buehner M.J. Awareness of voluntary and involuntary causal actions and their outcomes // *Psychology of Consciousness: Theory, Research, and Practice*. 2015. Vol. 2. No. 3. P. 237–252. <https://doi.org/10.1037/cns0000068>
- Buehner M.J., Humphreys G.R. Causal binding of actions to their effects // *Psychological Science*. 2009. Vol. 20. No. 10. P. 1221–1228. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2009.02435.x>
- Buehner M.J., Humphreys G.R. Causal contraction: Spatial binding in the perception of collision events // *Psychological Science*. 2010. Vol. 21. No. 1. P. 44–48. <https://doi.org/10.1177/0956797609354735>
- Carruthers P. The illusion of conscious will // *Synthese*. 2007. Vol. 159. No. 2. P. 197–213. <https://doi.org/10.1007/s11229-007-9204-7>
- Caspar E.A., de Beir A., Lauwers G., Cleeremans A., Vandenberght B. How using brain-machine interfaces influences the human sense of agency // *PLoS ONE*. 2021. Vol. 16. No. 1. P. e0245191:1–24. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0245191>
- Caspar E.A., Christensen J.F., Cleeremans A., Haggard P. Coercion changes the sense of agency in the human brain // *Current Biology*. 2016. Vol. 26. No. 5. P. 585–592. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2015.12.067>
- Caspar E.A., Cleeremans A., Haggard P. Only giving orders? An experimental study of the sense of agency when giving or receiving commands // *PLoS ONE*. 2018. Vol. 13. No. 9. P. e0204027:1–24. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0204027>
- Christensen J.F., Yoshie M., Di Costa S., Haggard P. Emotional valence, sense of agency and responsibility: A study using intentional binding // *Consciousness and Cognition*. 2016. Vol. 43. P. 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2016.02.016>
- Cravo A.M., Claessens P.M.E., Baldo M.V.C. Voluntary action and causality in temporal binding // *Experimental Brain Research*. 2009. Vol. 199. No. 1. P. 95–99. <https://doi.org/10.1007/s00221-009-1969-0>
- Cravo A.M., Claessens P.M.E., Baldo M.V.C. The relation between action, predictability and temporal contiguity in temporal binding // *Acta Psychologica*. 2011. Vol. 136. No. 1. P. 157–166. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2010.11.005>
- van Dam L.C.J., Parise V.C., Ernst M.O. Modeling multisensory integration // *Sensory integration and the unity of consciousness* The MIT Press, 2015. P. 209–229. <https://doi.org/10.7551/mitpress/9780262027786.003.0010>
- Demanet J., Muhle-Karbe P.S., Lynn M.T., Blotenberg I., Brass M. Power to the will: How exerting physical effort boosts the sense of agency // *Cognition*. 2013. Vol. 129. No. 3. P. 574–578. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2013.08.020>
- Desantis A., Hughes G., Waszak F. Intentional binding is driven by the mere presence of an action and not by motor predic-

tion // PLoS ONE. 2012. Vol. 7. No. 1. P. e29557:1–7. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0029557>

Desantis A., Roussel C., Waszak F. On the influence of causal beliefs on the feeling of agency // *Consciousness and Cognition*. 2011. Vol. 20. No. 4. P. 1211–1220. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2011.02.012>

Dewey J.A., Noblich G. Do implicit and explicit measures of the sense of agency measure the same thing? // PLoS ONE. 2014. Vol. 9. No. 10. P. e110118:1–9. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0110118>

Dogge M., Schaap M., Custers R., Wegner D.M., Aarts H. When moving without volition: Implied self-causation enhances binding strength between involuntary actions and effects // *Consciousness and Cognition*. 2012. Vol. 21. No. 1. P. 501–506. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2011.10.014>

Dubynin I.A., Yashin A.S., Velichkovsky B.M., Shishkin S.L. An experimental paradigm for studying sense of agency in joint human-machine motor actions // *Experimental Brain Research*. 2021. Vol. 239. No. 6. P. 1951–1961. <https://doi.org/10.1007/s00221-021-06105-9>

Eagleman D.M., Holcombe A.O. Causality and the perception of time // *Trends in Cognitive Sciences*. 2002. Vol. 6. No. 8. P. 323–325. [https://doi.org/10.1016/s1364-6613\(02\)01945-9](https://doi.org/10.1016/s1364-6613(02)01945-9)

Ebert J.P., Wegner D.M. Time warp: Authorship shapes the perceived timing of actions and events // *Consciousness and Cognition*. 2010. Vol. 19. No. 1. P. 481–489. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2009.10.002>

Endo S., Fröhner J., Musić S., Hirche S., Beckerle P. Effect of external force on agency in physical human-machine interaction // *Frontiers in Human Neuroscience*. 2020. Vol. 14. P. 114:1–10. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2020.00114>

Engbert K., Wohlschläger A. Intentions and expectations in temporal binding // *Consciousness and Cognition*. 2007. Vol. 16. No. 2. P. 255–264. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2006.09.010>

Engbert K., Wohlschläger A., Haggard P. Who is causing what? The sense of agency is relational and efferent-triggered // *Cognition*. 2008. Vol. 107. No. 2. P. 693–704. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2007.07.021>

Engbert K., Wohlschläger A., Thomas R., Haggard P. Agency, subjective time, and other minds // *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*. 2007. Vol. 33. No. 6. P. 1261–1268. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.33.6.1261>

Frith C.D., Blakemore S.J., Wolpert D.M. Abnormalities in the awareness and control of action // *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*. 2000. Vol. 355. No. 1404. P. 1771–1788. <https://doi.org/10.1098/rstb.2000.0734>

Gallagher S. Philosophical conceptions of the self: Implications for cognitive science // *Trends in Cognitive Sciences*. 2000. Vol. 4. No. 1. P. 14–21. [https://doi.org/10.1016/s1364-6613\(99\)01417-5](https://doi.org/10.1016/s1364-6613(99)01417-5)

Gallagher S. Multiple aspects in the sense of agency // *New Ideas in Psychology*. 2012. Vol. 30. No. 1. P. 15–31. <https://doi.org/10.1016/j.newideapsych.2010.03.003>

Gallagher S., Zahavi D. The phenomenological mind: An introduction to philosophy of mind and cognitive science. London: Routledge, 2007. <https://doi.org/10.4324/9780203086599>

Grynszpan O., Sahai A., Hamidi N., Pacherie E., Berberian B., Roche L., Saint-Bauzel L. The sense of agency in human-human vs human-robot joint action // *Consciousness and Cognition*. 2019. Vol. 75. P. 102820. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2019.102820>

Haering C., Kiesel A. Mine is earlier than yours: Causal beliefs influence the: Perceived time of action effects // *Frontiers in Psychology*. 2012. Vol. 3. P. 393:1–8. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2012.00393>

Haering C., Kiesel A. Intentional Binding is independent of the validity of the action effect's identity // *Acta Psychologica*. 2014. Vol. 152. P. 109–119. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2014.07.015>

Haggard P. Sense of agency in the human brain // *Nature Reviews Neuroscience*. 2017. Vol. 18. No. 4. P. 196–207. <https://doi.org/10.1038/nrn.2017.14>

Haggard P., Aschersleben G., Gehrke J., Prinz W. Action, binding, and awareness // *Common mechanisms in percep-*

tion and action: Attention and performance, vol. XIX / W. Prinz, B. Hommel (Eds.). Oxford: Oxford University Press, 2002a. P. 226–285.

Haggard P., Clark S., Kalogeras J. Voluntary action and conscious awareness // *Nature Neuroscience*. 2002b. Vol. 5. No. 4. P. 382–385. <https://doi.org/10.1038/nn827>

Horgan T.E., Tienson J.L., Graham G. The phenomenology of first-person agency // *Physicalism and mental causation: The metaphysics of mind and action* Imprint Academic, 2003. P. 323–340.

Howard E.E., Edwards S.G., Bayliss A.P. Physical and mental effort disrupts the implicit sense of agency // *Cognition*. 2016. Vol. 157. P. 114–125. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2016.08.018>

Hughes G., Desantis A., Waszak F. Mechanisms of intentional binding and sensory attenuation: The role of temporal prediction, temporal control, identity prediction, and motor prediction // *Psychological Bulletin*. 2013. Vol. 139. No. 1. P. 133–151. <https://doi.org/10.1037/a0028566>

Humphreys G.R., Buehner M.J. Magnitude estimation reveals temporal binding at super-second intervals // *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*. 2009. Vol. 35. No. 5. P. 1542–1549. <https://doi.org/10.1037/a0014492>

Humphreys G.R., Buehner M.J. Temporal binding of action and effect in interval reproduction // *Experimental Brain Research*. 2010. Vol. 203. No. 2. P. 465–470. <https://doi.org/10.1007/s00221-010-2199-1>

Imaizumi S., Tanno Y. Intentional binding coincides with explicit sense of agency // *Consciousness and Cognition*. 2019. Vol. 67. P. 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2018.11.005>

Jeannerod M., Pacherie E. Agency, simulation and self-identification // *Mind and Language*. 2004. Vol. 19. No. 2. P. 113–146. <https://doi.org/10.1111/j.1468-0017.2004.00251.x>

Jenkins M., Esemzie O., Lee V., Mensingh M., Nagales K., Obhi S.S. An investigation of “We” agency in co-operative joint actions // *Psychological Research*. 2021. Vol. 85. No. 8. P. 3167–3181. <https://doi.org/10.1007/s00426-020-01462-6>

Jo H.G., Wittmann M., Hinterberger T., Schmidt S. The readiness potential reflects intentional binding // *Frontiers in Human Neuroscience*. 2014. Vol. 8. P. 421:1–9. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00421>

Kirsch W., Kunde W., Herbol O. Intentional binding is unrelated to action intention // *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*. 2019. Vol. 45. No. 3. P. 378–385. <https://doi.org/10.1037/xhp0000612>

Kirsch W., Pfister R., Kunde W. Spatial action-effect binding // *Attention, Perception, and Psychophysics*. 2016. Vol. 78. No. 1. P. 133–142. <https://doi.org/10.3758/s13414-015-0997-z>

Kong G., He K., Wei K. Sensorimotor experience in virtual reality enhances sense of agency associated with an avatar // *Consciousness and Cognition*. 2017. Vol. 52. P. 115–124. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2017.04.018>

Kühn S., Brass M., Haggard P. Feeling in control: Neural correlates of experience of agency // *Cortex*. 2013. Vol. 49. No. 7. P. 1935–1942. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2012.09.002>

Lafargue G., Franck N. Effort awareness and sense of volition in schizophrenia // *Consciousness and Cognition*. 2009. Vol. 18. No. 1. P. 277–289. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2008.05.004>

Libet B., Gleason C.A., Wright E.W., Pearl D.K. Time of conscious intention to act in relation to onset of cerebral activity (readiness-potential): The unconscious initiation of a freely voluntary act // *Brain*. 1983. Vol. 106. No. 3. P. 623–642. <https://doi.org/10.1093/brain/106.3.623>

Lopez-Sola E., Moreno-Botec R., Arsiwalla X.D. Sense of agency for mental actions: Insights from a belief-based action-effect paradigm // *Consciousness and Cognition*. 2021. Vol. 96. P. 103225. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2021.103225>

Lush P., Roseboom W., Cleeremans A., Scott R.B., Seth A.K., Dienes Z. Intentional binding as Bayesian cue combination: Testing predictions with trait individual differences // *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*. 2019. Vol. 45. No. 9. P. 1206–1217. <https://doi.org/10.1037/xhp0000661>

Majchrowicz B., Wierchoń M. Unexpected action outcomes produce enhanced temporal binding but diminished judgement of

agency // *Consciousness and Cognition*. 2018. Vol. 65. P. 310–324. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2018.09.007>

Mezulis A.H., Abramson L.Y., Hyde J.S., Hankin B.L. Is there a universal positivity bias in attributions? A meta-analytic review of individual, developmental, and cultural differences in the self-serving attributional bias // *Psychological Bulletin*. 2004. Vol. 130. No. 5. P. 711–747. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.130.5.711>

Michotte A. La perception de la causalité [Perception of causality]. Editions de l'Institut Supérieur de Philosophie, 1946.

Minohara R., Wen W., Hamasaki S., Maeda T., Kato M., Yamakawa H., Yamashita A., Asama H. Strength of intentional effort enhances the sense of agency // *Frontiers in Psychology*. 2016. Vol. 7. P. 1165:1–5. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.01165>

Moore J., Haggard P. Awareness of action: Inference and prediction // *Consciousness and Cognition*. 2008. Vol. 17. No. 1. P. 136–144. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2006.12.004>

Moore J.W., Fletcher P.C. Sense of agency in health and disease: A review of cue integration approaches // *Consciousness and Cognition*. 2012. Vol. 21. No. 1. P. 59–68. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2011.08.010>

Moore J.W., Lagnado D., Deal D.C., Haggard P. Feelings of control: Contingency determines experience of action // *Cognition*. 2009a. Vol. 110. No. 2. P. 279–283. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2008.11.006>

Moore J.W., Obhi S.S. Intentional binding and the sense of agency: A review // *Consciousness and Cognition*. 2012. Vol. 21. No. 1. P. 546–561. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2011.12.002>

Moore J.W., Wegner D.M., Haggard P. Modulating the sense of agency with external cues // *Consciousness and Cognition*. 2009b. Vol. 18. No. 4. P. 1056–1064. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2009.05.004>

Moreton J., Callan M.J., Hughes G. How much does emotional valence of action outcomes affect temporal binding? // *Consciousness and Cognition*. 2017. Vol. 49. P. 25–34. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2016.12.008>

Nolden S., Haering C., Kiesel A. Assessing intentional binding with the method of constant stimuli // *Consciousness and Cognition*. 2012. Vol. 21. No. 3. P. 1176–1185. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2012.05.003>

Obhi S.S., Hall P. Sense of agency and intentional binding in joint action // *Experimental Brain Research*. 2011a. Vol. 211. No. 3–4. P. 655–662. <https://doi.org/10.1007/s00221-011-2675-2>

Obhi S.S., Hall P. Sense of agency in joint action: Influence of human and computer co-actors // *Experimental Brain Research*. 2011b. Vol. 211. No. 3–4. P. 663–670. <https://doi.org/10.1007/s00221-011-2662-7>

Pacherie E. How does it feel to act together? // *Phenomenology and the Cognitive Sciences*. 2014. Vol. 13. No. 1. P. 25–46. <https://doi.org/10.1007/s11097-013-9329-8>

Parsons B.D., Novich S.D., Eagleman D.M. Motor-sensory recalibration modulates perceived simultaneity of cross-modal events at different distances // *Frontiers in Psychology*. 2013. Vol. 4. P. 46:1–12. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00046>

Pfister R., Obhi S.S., Rieger M., Wenke D. Action and perception in social contexts: Intentional binding for social action effects // *Frontiers in Human Neuroscience*. 2014. Vol. 8. P. 667:1–10. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00667>

Poonian S.K., Cunningham R. Intentional binding in self-made and observed actions // *Experimental Brain Research*. 2013. Vol. 229. No. 3. P. 419–427. <https://doi.org/10.1007/s00221-013-3505-5>

Pyasik M., Burin D., Pia L. On the relation between body ownership and sense of agency: A link at the level of sensory-related signals // *Acta Psychologica*. 2018. Vol. 185. P. 219–228. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2018.03.001>

Rohde M., Van Dam L.C., Ernst M.O. Statistically optimal multisensory cue integration: A practical tutorial // *Multisensory Research*. 2016. Vol. 29. No. 4–5. P. 279–317. <https://doi.org/10.1163/22134808-00002510>

Ruess M., Thomaschke R., Kiesel A. The time course of intentional binding // *Attention, Perception, and Psychophysics*. 2017. Vol. 79. No. 4. P. 1123–1131. <https://doi.org/10.3758/s13414-017-1292-y>

Ruess M., Thomaschke R., Kiesel A. Intentional binding of visual effects // *Attention, Perception, and Psychophysics*. 2018. Vol. 80. No. 3. P. 713–722. <https://doi.org/10.3758/s13414-017-1479-2>

Sahai A., Desantis A., Grynspan O., Pacherie E., Berberian B. Action co-representation and the sense of agency during a joint Simon task: Comparing human and machine co-agents // *Consciousness and Cognition*. 2019. Vol. 67. P. 44–55. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2018.11.008>

Sahai A., Pacherie E., Grynspan O., Berberian B. Predictive mechanisms are not involved the same way during human-human vs. human-machine interactions: A review // *Frontiers in Neurobotics*. 2017. Vol. 11. P. 52:1–18. <https://doi.org/10.3389/fnbot.2017.00052>

Saito N., Takahata K., Murai T., Takahashi H. Discrepancy between explicit judgement of agency and implicit feeling of agency: Implications for sense of agency and its disorders // *Consciousness and Cognition*. 2015. Vol. 37. P. 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2015.07.011>

Salmela M., Nagatsu M. How does it really feel to act together? Shared emotions and the phenomenology of we-agency // *Phenomenology and the Cognitive Sciences*. 2017. Vol. 16. No. 3. P. 449–470. <https://doi.org/10.1007/s11097-016-9465-z>

Sato A., Yasuda A. Illusion of sense of self-agency: Discrepancy between the predicted and actual sensory consequences of actions modulates the sense of self-agency, but not the sense of self-ownership // *Cognition*. 2005. Vol. 94. No. 3. P. 241–255. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2004.04.003>

Sebanz N., Knoblich G., Prinz W. Representing others' actions: Just like one's own? // *Cognition*. 2003. Vol. 88. No. 3. P. B11–B21. [https://doi.org/10.1016/s0010-0277\(03\)00043-x](https://doi.org/10.1016/s0010-0277(03)00043-x)

Sidarus N., Haggard P. Difficult action decisions reduce the sense of agency: A study using the Eriksen flanker task // *Acta Psychologica*. 2016. Vol. 166. P. 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2016.03.003>

Stephenson L.J., Edwards S.G., Howard E.E., Bayliss A.P. Eyes that bind us: Gaze leading induces an implicit sense of agency // *Cognition*. 2018. Vol. 172. P. 124–133. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2017.12.011>

Strother L., House K.A., Obhi S.S. Subjective agency and awareness of shared actions // *Consciousness and Cognition*. 2010. Vol. 19. No. 1. P. 12–20. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2009.12.007>

Suzuki K., Lush P., Seth A.K., Roseboom W. Intentional binding without intentional action // *Psychological Science*. 2019. Vol. 30. No. 6. P. 842–853. <https://doi.org/10.1177/0956797619842191>

Synofzik M., Vosgerau G., Newen A. Beyond the comparator model: A multifactorial two-step account of agency // *Consciousness and Cognition*. 2008. Vol. 17. No. 1. P. 219–239. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2007.03.010>

Synofzik M., Vosgerau G., Voss M. The experience of agency: An interplay between prediction and postdiction // *Frontiers in Psychology*. 2013. Vol. 4. P. 127:1–8. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00127>

Takahata K., Takahashi H., Maeda T., Umeda S., Suhara T., Mimura H., Kato M. It's not my fault: Postdictive modulation of intentional binding by monetary gains and losses // *PLoS ONE*. 2012. Vol. 7. No. 12. P. e53421:1–8. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0053421>

Tanaka T., Matsumoto T., Hayashi S., Takagi S., Kawabata H. What makes action and outcome temporally close to each other: A systematic review and meta-analysis of temporal binding // *Timing and Time Perception*. 2019. Vol. 7. No. 3. P. 189–218. <https://doi.org/10.1163/22134468-20191150>

Tsakiris M., Haggard P. Awareness of somatic events associated with a voluntary action // *Experimental Brain Research*. 2003. Vol. 149. No. 4. P. 439–446. <https://doi.org/10.1007/s00221-003-1386-8>

Van den Bussche E., Alves M., Murray Y.P.J., Hughes G. The effect of cognitive effort on the sense of agency // *PLoS ONE*. 2020. Vol. 15. No. 8. P. e0236809:1–20. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0236809>

Vastano R., Pozzo T., Brass M. The action congruency effect on the feelings of agency // *Consciousness and Cognition*. 2017. Vol. 51. P. 212–222. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2017.04.002>

Villa R., Tidoni E., Porciello G., Aglioti S.M. Violation of expectations about movement and goal achievement leads to Sense of Agency reduction // *Experimental Brain Research*. 2018. Vol. 236. No.7. P. 2123–2135. <https://doi.org/10.1007/s00221-018-5286-3>

Vosgerau G., Synofzik M. Weighting models and weighting factors // *Consciousness and Cognition*. 2012. Vol. 21. No. 1. P. 55–58. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2011.09.016>

Wegner D.M., Sparrow B., Winerman L. Vicarious agency: Experiencing control over the movements of others // *Journal of Personality and Social Psychology*. 2004. Vol. 86. No. 6. P. 838–848. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.86.6.838>

Wegner D.M., Wheatley T. Apparent mental causation: Sources of the experience of will // *American Psychologist*. 1999. Vol. 54. No.7. P. 480–492. <https://doi.org/10.1037/0003-066x.54.7.480>

Wen W. Does delay in feedback diminish sense of agency? A review // *Consciousness and Cognition*. 2019. Vol. 73. P. 102759:1–9. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2019.05.007>

Wen W., Yamashita A., Asama H. The sense of agency during continuous action: Performance is more important than action-feedback association // *PLoS ONE*. 2015a. Vol. 10. No.4. P. e0125226:1–16. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0125226>

Wen W., Yamashita A., Asama H. The influence of action-outcome delay and arousal on sense of agency and the intentional binding effect // *Consciousness and Cognition*. 2015b. Vol. 36. P. 87–95. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2015.06.004>

Wohlschläger A., Engbert K., Haggard P. Intentionality as a constituting condition for the own self - And other selves // *Consciousness and Cognition*. 2003. Vol. 12. No. 4. P. 708–716. [https://doi.org/10.1016/s1053-8100\(03\)00083-7](https://doi.org/10.1016/s1053-8100(03)00083-7)

Wolpe N., Haggard P., Siebner H.R., Rowe J.B. Cue integration and the perception of action in intentional binding // *Experimental Brain Research*. 2013. Vol. 229. No. 3. P. 467–474. <https://doi.org/10.1007/s00221-013-3419-2>

Wolpert D.M., Ghahramani Z. Computational principles of movement neuroscience // *Nature Neuroscience*. 2000. Vol. 3. No. S11. P. 1212–1217. <https://doi.org/10.1038/81497>

Yoshie M., Haggard P. Negative emotional outcomes attenuate sense of agency over voluntary actions // *Current Biology*. 2013. Vol. 23. No. 20. P. 2028–2032. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2013.08.034>

Zito G.A., Wiest R., Aybek S. Neural correlates of sense of agency in motor control: A neuroimaging meta-analysis // *PLoS ONE*. 2020. Vol. 15. No. 6. P. e0234321:1–17. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0234321>

review articles

Intentional Binding as an Implicit Measure of the Sense of Agency

Artyom S. Yashin

Laboratory for Neurocognitive Technology, NRC «Kurchatov Institute», Moscow, Russia;
Philosophy Department, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

Ignat A. Dubynin

MEG Center: Center for Neurocognitive Research MSUPE, Moscow, Russia

Abstract. Intentional binding (IB) is the effect of the subjective temporal attraction of an action and its result. This effect is often viewed as an implicit measure of the sense of agency — a person's awareness of his or her own actions. In our review, we conduct an analysis of various studies reporting the correlation between IB and the sense of agency. We take into account a number of relevant differences between experimental methods, e.g., various techniques for measuring IB. Our review also considers the emergence of IB in the performance of joint actions, as well as the influence of factors such as the delay between the action and the signal, the modality of the signal, the valence of the result of the action, and so on. We conclude that IB manifests itself differently depending on the way it is measured, i.e. the uniform nature of the effect is dubious. IB is influenced by both low-level and high-level processes, which interact with each other and modulate the strength of the effect to varying degrees. As a result, the effect reflects not only the presence of the sense of agency but also the predictability of events in the experiment, as well as the presence of a representation of an action. At the same time, one of the sources of ambiguity in the existing studies is the use of different concepts of the sense of agency by different authors, which is reflected in the interpretations of the results. At the end of the review, we formulate recommendations for future experiments which are meant to take into account the methodological shortcomings of the existing studies. We also point out the most promising directions in the research of IB and present some conceptual difficulties in interpreting the experimental results.

Correspondence: Artyom S. Yashin, teridacs@yandex.ru; Plushchad Akademika Kurchatova, 1, Moscow, Russia 123098; Ignat A. Dubynin, ignd@gmail.com

Keywords: intentional binding, sense of agency, correlates of sense of agency, time perception, subjective time estimates, psychophysics

Copyright © 2021. Artyom S. Yashin, Ignat A. Dubynin. This is an open-access article distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution License \(CC BY\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided that the original author is credited and that the original publication in this journal is cited, in accordance with accepted academic practice.

Acknowledgements. This work was supported by a grant from the National Research Center “Kurchatov Institute”, (Order No. 2752 from 28.10.2021). We are particularly grateful for the assistance given by S. L. Shishkin and E. V. Pechenkova.

Received April 10, 2021, accepted December 22, 2021.

References

- Barlas, Z., Hockley, W. E., & Obhi, S. S. (2017). The effects of freedom of choice in action selection on perceived mental effort and the sense of agency. *Acta Psychologica*, 180, 122–129. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2017.09.004>
- Barlas, Z., & Obhi, S. S. (2014). Cultural background influences implicit but not explicit sense of agency for the production of musical tones. *Consciousness and Cognition*, 28, 94–103. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2014.06.013>
- Bayne, T. (2015). Introspective insecurity. In T. K. Metzinger, & J. M. Windt (Eds.), *Open MIND*. Frankfurt am Main: MIND Group. <https://doi.org/10.15502/9783958570214>
- Bayne, T. (2008). The phenomenology of agency. *Philosophy Compass*, 3(1), 182–202. <https://doi.org/10.1111/j.1747-9991.2007.00122.x>
- Bayne, T., & Levy, N. (2006). The feeling of doing: Deconstructing the phenomenology of agency. In N. Sebanz, & W. Prinz (Eds.), *Disorders of Volition* (pp. 49–68). MIT Press. <https://doi.org/10.7551/mitpress/2457.003.0004>

- Bayne, T., & Pacherie, E. (2007). Narrators and comparators: The architecture of agentive self-awareness. *Synthese*, 159(3), 475–491. <https://doi.org/10.1007/s11229-007-9239-9>
- Beck, B., Di Costa, S., & Haggard, P. (2017). Having control over the external world increases the implicit sense of agency. *Cognition*, 162, 54–60. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2017.02.002>
- Blakemore, S. J., Wolpert, D., & Frith, C. (2000). Why can't you tickle yourself? *NeuroReport*, 11(11), R11–R16. <https://doi.org/10.1097/00001756-200008030-00002>
- Borhani, K., Beck, B., & Haggard, P. (2017). Choosing, doing, and controlling: Implicit sense of agency over somatosensory events. *Psychological Science*, 28(7), 882–893. <https://doi.org/10.1177/0956797617697693>
- Botvinick, M., & Cohen, J. (1998). Rubber hands 'feel' touch that eyes see. *Nature*, 391(6669), 756–756. <https://doi.org/10.1038/35784>
- Braun, N., Debener, S., Sychala, N., Bongartz, E., Sörös, P., Müller, H. H. O., & Philipsen, A. (2018). The senses of agency and ownership: A review. *Frontiers in Psychology*, 9, 535:1–17. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.00535>
- Braun, N., Thorne, J. D., Hildebrandt, H., & Debener, S. (2014). Interplay of agency and ownership: The intentional binding and rubber hand illusion paradigm combined. *PLoS ONE*, 9(11), e111967:1–10. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0111967>
- Buehner, M. J. (2012). Understanding the past, predicting the future: Causation, not intentional action, is the root of temporal binding. *Psychological Science*, 23(12), 1490–1497. <https://doi.org/10.1177/0956797612444612>
- Buehner, M. J. (2015). Awareness of voluntary and involuntary causal actions and their outcomes. *Psychology of Consciousness: Theory, Research, and Practice*, 2(3), 237–252. <https://doi.org/10.1037/cns0000068>
- Buehner, M. J., & Humphreys, G. R. (2009). Causal binding of actions to their effects. *Psychological Science*, 20(10), 1221–1228. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2009.02435.x>
- Buehner, M. J., & Humphreys, G. R. (2010). Causal contraction: Spatial binding in the perception of collision events. *Psychological Science*, 21(1), 44–48. <https://doi.org/10.1177/0956797609354735>
- Carruthers, P. (2007). The illusion of conscious will. *Synthese*, 159(2), 197–213. <https://doi.org/10.1007/s11229-007-9204-7>
- Caspar, E. A., de Beir, A., Lauwers, G., Cleeremans, A., & Vanderborght, B. (2021). How using brain-machine interfaces influences the human sense of agency. *PLoS ONE*, 16(1), e0245191:1–24. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0245191>
- Caspar, E. A., Christensen, J. F., Cleeremans, A., & Haggard, P. (2016). Coercion changes the sense of agency in the human brain. *Current Biology*, 26(5), 585–592. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2015.12.067>
- Caspar, E. A., Cleeremans, A., & Haggard, P. (2018). Only giving orders? An experimental study of the sense of agency when giving or receiving commands. *PLoS ONE*, 13(9), e0204027:1–24. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0204027>
- Christensen, J. F., Yoshie, M., Di Costa, S., & Haggard, P. (2016). Emotional valence, sense of agency and responsibility: A study using intentional binding. *Consciousness and Cognition*, 43, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2016.02.016>
- Cravo, A. M., Claessens, P. M. E., & Baldo, M. V. C. (2009). Voluntary action and causality in temporal binding. *Experimental Brain Research*, 199(1), 95–99. <https://doi.org/10.1007/s00221-009-1969-0>
- Cravo, A. M., Claessens, P. M. E., & Baldo, M. V. C. (2011). The relation between action, predictability and temporal contiguity in temporal binding. *Acta Psychologica*, 136(1), 157–166. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2010.11.005>
- van Dam, L. C. J., Parise, V. C., & Ernst, M. O. (2015). Modeling multisensory integration. In *Sensory integration and the unity of consciousness* (pp. 209–229). The MIT Press. <https://doi.org/10.7551/mitpress/9780262027786.003.0010>
- Demanet, J., Muhle-Karbe, P. S., Lynn, M. T., Blotenberg, I., & Brass, M. (2013). Power to the will: How exerting physical effort boosts the sense of agency. *Cognition*, 129(3), 574–578. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2013.08.020>
- Desantis, A., Hughes, G., & Waszak, F. (2012). Intentional binding is driven by the mere presence of an action and not by motor prediction. *PLoS ONE*, 7(1), e29557:1–7. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0029557>
- Desantis, A., Roussel, C., & Waszak, F. (2011). On the influence of causal beliefs on the feeling of agency. *Consciousness and Cognition*, 20(4), 1211–1220. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2011.02.012>
- Dewey, J. A., & Knoblich, G. (2014). Do implicit and explicit measures of the sense of agency measure the same thing? *PLoS ONE*, 9(10), e110118:1–9. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0110118>
- Dogge, M., Schaap, M., Custers, R., Wegner, D. M., & Aarts, H. (2012). When moving without volition: Implied self-causation enhances binding strength between involuntary actions and effects. *Consciousness and Cognition*, 21(1), 501–506. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2011.10.014>
- Dubynin, I. A., Yashin, A. S., Velichkovsky, B. M., & Shishkin, S. L. (2021). An experimental paradigm for studying sense of agency in joint human-machine motor actions. *Experimental Brain Research*, 239(6), 1951–1961. <https://doi.org/10.1007/s00221-021-06105-9>
- Eagleman, D. M., & Holcombe, A. O. (2002). Causality and the perception of time. *Trends in Cognitive Sciences*, 6(8), 323–325. [https://doi.org/10.1016/s1364-6613\(02\)01945-9](https://doi.org/10.1016/s1364-6613(02)01945-9)
- Ebert, J. P., & Wegner, D. M. (2010). Time warp: Authorship shapes the perceived timing of actions and events. *Consciousness and Cognition*, 19(1), 481–489. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2009.10.002>
- Endo, S., Fröhner, J., Musić, S., Hirche, S., & Beckerle, P. (2020). Effect of external force on agency in physical human-machine interaction. *Frontiers in Human Neuroscience*, 14, 114:1–10. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2020.00114>
- Engbert, K., & Wohlschläger, A. (2007). Intentions and expectations in temporal binding. *Consciousness and Cognition*, 16(2), 255–264. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2006.09.010>
- Engbert, K., Wohlschläger, A., & Haggard, P. (2008). Who is causing what? The sense of agency is relational and efferent-triggered. *Cognition*, 107(2), 693–704. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2007.07.021>
- Engbert, K., Wohlschläger, A., Thomas, R., & Haggard, P. (2007). Agency, subjective time, and other minds. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 33(6), 1261–1268. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.33.6.1261>
- Frith, C. D., Blakemore, S. J., & Wolpert, D. M. (2000). Abnormalities in the awareness and control of action. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 355(1404), 1771–1788. <https://doi.org/10.1098/rstb.2000.0734>
- Gallagher, S. (2000). Philosophical conceptions of the self: Implications for cognitive science. *Trends in Cognitive Sciences*, 4(1), 14–21. [https://doi.org/10.1016/s1364-6613\(99\)01417-5](https://doi.org/10.1016/s1364-6613(99)01417-5)
- Gallagher, S. (2012). Multiple aspects in the sense of agency. *New Ideas in Psychology*, 30(1), 15–31. <https://doi.org/10.1016/j.newideapsych.2010.03.003>
- Gallagher, S., & Zahavi, D. (2007). *The phenomenological mind: An introduction to philosophy of mind and cognitive science* (1st ed.). London: Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203086599>
- Grynszpan, O., Sahai, A., Hamidi, N., Pacherie, E., Berberian, B., Roche, L., & Saint-Bauzel, L. (2019). The sense of agency in human-human vs human-robot joint action. *Consciousness and Cognition*, 75, 102820. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2019.102820>
- Haering, C., & Kiesel, A. (2012). Mine is earlier than yours: Causal beliefs influence the perceived time of action effects. *Frontiers in Psychology*, 3, 393:1–8. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2012.00393>
- Haering, C., & Kiesel, A. (2014). Intentional Binding is independent of the validity of the action effect's identity. *Acta Psychologica*, 152, 109–119. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2014.07.015>

- Haggard, P. (2017). Sense of agency in the human brain. *Nature Reviews Neuroscience*, 18(4), 196–207. <https://doi.org/10.1038/nrn.2017.14>
- Haggard, P., Aschersleben, G., Gehrke, J., & Prinz, W. (2002a). Action, binding, and awareness. In W. Prinz, & B. Hommel (Eds.), *Common mechanisms in perception and action: Attention and performance*, vol. XIX (pp. 226–285). Oxford: Oxford University Press.
- Haggard, P., Clark, S., & Kalogeras, J. (2002b). Voluntary action and conscious awareness. *Nature Neuroscience*, 5(4), 382–385. <https://doi.org/10.1038/nn827>
- Horgan, T.E., Tienson, J.L., & Graham, G. (2003). The phenomenology of first-person agency. In *Physicalism and mental causation: The metaphysics of mind and action* (pp. 323–340). Imprint Academic.
- Howard, E.E., Edwards, S.G., & Bayliss, A.P. (2016). Physical and mental effort disrupts the implicit sense of agency. *Cognition*, 157, 114–125. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2016.08.018>
- Hughes, G., Desantis, A., & Waszak, F. (2013). Mechanisms of intentional binding and sensory attenuation: The role of temporal prediction, temporal control, identity prediction, and motor prediction. *Psychological Bulletin*, 139(1), 133–151. <https://doi.org/10.1037/a0028566>
- Humphreys, G.R., & Buehner, M.J. (2009). Magnitude estimation reveals temporal binding at super-second intervals. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 35(5), 1542–1549. <https://doi.org/10.1037/a0014492>
- Humphreys, G.R., & Buehner, M.J. (2010). Temporal binding of action and effect in interval reproduction. *Experimental Brain Research*, 203(2), 465–470. <https://doi.org/10.1007/s00221-010-2199-1>
- Imaizumi, S., & Tanno, Y. (2019). Intentional binding coincides with explicit sense of agency. *Consciousness and Cognition*, 67, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2018.11.005>
- Jeannerod, M., & Pacherie, E. (2004). Agency, simulation and self-identification. *Mind and Language*, 19(2), 113–146. <https://doi.org/10.1111/j.1468-0017.2004.00251.x>
- Jenkins, M., Esemzie, O., Lee, V., Mensingh, M., Nagales, K., & Obhi, S.S. (2021). An investigation of “We” agency in co-operative joint actions. *Psychological Research*, 85(8), 3167–3181. <https://doi.org/10.1007/s00426-020-01462-6>
- Jo, H.G., Wittmann, M., Hinterberger, T., & Schmidt, S. (2014). The readiness potential reflects intentional binding. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8, 421:1–9. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00421>
- Kirsch, W., Kunde, W., & Herbolt, O. (2019). Intentional binding is unrelated to action intention. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 45(3), 378–385. <https://doi.org/10.1037/xhp0000612>
- Kirsch, W., Pfister, R., & Kunde, W. (2016). Spatial action-effect binding. *Attention, Perception, and Psychophysics*, 78(1), 133–142. <https://doi.org/10.3758/s13414-015-0997-z>
- Kong, G., He, K., & Wei, K. (2017). Sensorimotor experience in virtual reality enhances sense of agency associated with an avatar. *Consciousness and Cognition*, 52, 115–124. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2017.04.018>
- Kühn, S., Brass, M., & Haggard, P. (2013). Feeling in control: Neural correlates of experience of agency. *Cortex*, 49(7), 1935–1942. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2012.09.002>
- Lafargue, G., & Franck, N. (2009). Effort awareness and sense of volition in schizophrenia. *Consciousness and Cognition*, 18(1), 277–289. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2008.05.004>
- Libet, B., Gleason, C.A., Wright, E.W., & Pearl, D.K. (1983). Time of conscious intention to act in relation to onset of cerebral activity (readiness-potential): The unconscious initiation of a freely voluntary act. *Brain*, 106(3), 623–642. <https://doi.org/10.1093/brain/106.3.623>
- Lopez-Sola, E., Moreno-Botec, R., & Arsiwalla, X.D. (2021). Sense of agency for mental actions: Insights from a belief-based action-effect paradigm. *Consciousness and Cognition*, 96, 103225. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2021.103225>
- Lush, P., Roseboom, W., Cleeremans, A., Scott, R.B., Seth, A.K., & Dienes, Z. (2019). Intentional binding as Bayesian cue combination: Testing predictions with trait individual differences. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 45(9), 1206–1217. <https://doi.org/10.1037/xhp0000661>
- Majchrowicz, B., & Wierchoń, M. (2018). Unexpected action outcomes produce enhanced temporal binding but diminished judgement of agency. *Consciousness and Cognition*, 65, 310–324. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2018.09.007>
- Mezulis, A.H., Abramson, L.Y., Hyde, J.S., & Hankin, B.L. (2004). Is there a universal positivity bias in attributions? A meta-analytic review of individual, developmental, and cultural differences in the self-serving attributional bias. *Psychological Bulletin*, 130(5), 711–747. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.130.5.711>
- Michotte, A. (1946). *La perception de la causalité [Perception of causality] (Études de psychologie, Vol.VI)*. Editions de l'Institut Supérieur de Philosophie. (In French).
- Minohara, R., Wen, W., Hamasaki, S., Maeda, T., Kato, M., Yamakawa, H., Yamashita, A., & Asama, H. (2016). Strength of intentional effort enhances the sense of agency. *Frontiers in Psychology*, 7, 1165:1–5. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.01165>
- Moore, J., & Haggard, P. (2008). Awareness of action: Inference and prediction. *Consciousness and Cognition*, 17(1), 136–144. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2006.12.004>
- Moore, J.W., & Fletcher, P.C. (2012). Sense of agency in health and disease: A review of cue integration approaches. *Consciousness and Cognition*, 21(1), 59–68. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2011.08.010>
- Moore, J.W., Lagnado, D., Deal, D.C., & Haggard, P. (2009a). Feelings of control: Contingency determines experience of action. *Cognition*, 110(2), 279–283. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2008.11.006>
- Moore, J.W., & Obhi, S.S. (2012). Intentional binding and the sense of agency: A review. *Consciousness and Cognition*, 21(1), 546–561. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2011.12.002>
- Moore, J.W., Wegner, D.M., & Haggard, P. (2009b). Modulating the sense of agency with external cues. *Consciousness and Cognition*, 18(4), 1056–1064. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2009.05.004>
- Moreton, J., Callan, M.J., & Hughes, G. (2017). How much does emotional valence of action outcomes affect temporal binding? *Consciousness and Cognition*, 49, 25–34. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2016.12.008>
- Nolden, S., Haering, C., & Kiesel, A. (2012). Assessing intentional binding with the method of constant stimuli. *Consciousness and Cognition*, 21(3), 1176–1185. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2012.05.003>
- Obhi, S.S., & Hall, P. (2011a). Sense of agency and intentional binding in joint action. *Experimental Brain Research*, 211(3–4), 655–662. <https://doi.org/10.1007/s00221-011-2675-2>
- Obhi, S.S., & Hall, P. (2011b). Sense of agency in joint action: Influence of human and computer co-actors. *Experimental Brain Research*, 211(3–4), 663–670. <https://doi.org/10.1007/s00221-011-2662-7>
- Pacherie, E. (2014). How does it feel to act together? *Phenomenology and the Cognitive Sciences*, 13(1), 25–46. <https://doi.org/10.1007/s11097-013-9329-8>
- Parsons, B.D., Novich, S.D., & Eagleman, D.M. (2013). Motor-sensory recalibration modulates perceived simultaneity of cross-modal events at different distances. *Frontiers in Psychology*, 4, 46:1–12. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00046>
- Pfister, R., Obhi, S.S., Rieger, M., & Wenke, D. (2014). Action and perception in social contexts: Intentional binding for social action effects. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8, 667:1–10. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00667>
- Poonian, S.K., & Cunningham, R. (2013). Intentional binding in self-made and observed actions. *Experimental Brain Research*, 229(3), 419–427. <https://doi.org/10.1007/s00221-013-3505-5>
- Pyasik, M., Burin, D., & Pia, L. (2018). On the relation between body ownership and sense of agency: A link at the level of sensory-related signals. *Acta Psychologica*, 185, 219–228. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2018.03.001>

- Rohde, M., Van Dam, L. C., & Ernst, M. O. (2016). Statistically optimal multisensory cue integration: A practical tutorial. *Multisensory Research*, 29(4–5), 279–317. <https://doi.org/10.1163/22134808-00002510>
- Ruess, M., Thomaschke, R., & Kiesel, A. (2017). The time course of intentional binding. *Attention, Perception, and Psychophysics*, 79(4), 1123–1131. <https://doi.org/10.3758/s13414-017-1292-y>
- Ruess, M., Thomaschke, R., & Kiesel, A. (2018). Intentional binding of visual effects. *Attention, Perception, and Psychophysics*, 80(3), 713–722. <https://doi.org/10.3758/s13414-017-1479-2>
- Sahaï, A., Desantis, A., Grynszpan, O., Pacherie, E., & Berberian, B. (2019). Action co-representation and the sense of agency during a joint Simon task: Comparing human and machine co-agents. *Consciousness and Cognition*, 67, 44–55. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2018.11.008>
- Sahaï, A., Pacherie, E., Grynszpan, O., & Berberian, B. (2017). Predictive mechanisms are not involved the same way during human-human vs. human-machine interactions: A review. *Frontiers in Neurobotics*, 11, 52:1–18. <https://doi.org/10.3389/fnbot.2017.00052>
- Saito, N., Takahata, K., Murai, T., & Takahashi, H. (2015). Discrepancy between explicit judgement of agency and implicit feeling of agency: Implications for sense of agency and its disorders. *Consciousness and Cognition*, 37, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2015.07.011>
- Salmela, M., & Nagatsu, M. (2017). How does it really feel to act together? Shared emotions and the phenomenology of we-agency. *Phenomenology and the Cognitive Sciences*, 16(3), 449–470. <https://doi.org/10.1007/s11097-016-9465-z>
- Sato, A., & Yasuda, A. (2005). Illusion of sense of self-agency: Discrepancy between the predicted and actual sensory consequences of actions modulates the sense of self-agency, but not the sense of self-ownership. *Cognition*, 94(3), 241–255. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2004.04.003>
- Sebanz, N., Knoblich, G., & Prinz, W. (2003). Representing others' actions: Just like one's own? *Cognition*, 88(3), B11–B21. [https://doi.org/10.1016/S0010-0277\(03\)00043-X](https://doi.org/10.1016/S0010-0277(03)00043-X)
- Sidarus, N., & Haggard, P. (2016). Difficult action decisions reduce the sense of agency: A study using the Eriksen flanker task. *Acta Psychologica*, 166, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2016.03.003>
- Stephenson, L. J., Edwards, S. G., Howard, E. E., & Bayliss, A. P. (2018). Eyes that bind us: Gaze leading induces an implicit sense of agency. *Cognition*, 172, 124–133. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2017.12.011>
- Strother, L., House, K. A., & Obhi, S. S. (2010). Subjective agency and awareness of shared actions. *Consciousness and Cognition*, 19(1), 12–20. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2009.12.007>
- Suzuki, K., Lush, P., Seth, A. K., & Roseboom, W. (2019). Intentional binding without intentional action. *Psychological Science*, 30(6), 842–853. <https://doi.org/10.1177/0956797619842191>
- Synofzik, M., Vosgerau, G., & Newen, A. (2008). Beyond the comparator model: A multifactorial two-step account of agency. *Consciousness and Cognition*, 17(1), 219–239. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2007.03.010>
- Synofzik, M., Vosgerau, G., & Voss, M. (2013). The experience of agency: An interplay between prediction and postdiction. *Frontiers in Psychology*, 4, 127:1–8. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00127>
- Takahata, K., Takahashi, H., Maeda, T., Umeda, S., Suhara, T., Mimura, M., & Kato, M. (2012). It's not my fault: Postdictive modulation of intentional binding by monetary gains and losses. *PLoS ONE*, 7(12), e53421:1–8. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0053421>
- Tanaka, T., Matsumoto, T., Hayashi, S., Takagi, S., & Kawabata, H. (2019). What makes action and outcome temporally close to each other: A systematic review and meta-analysis of temporal binding. *Timing and Time Perception*, 7(3), 189–218. <https://doi.org/10.1163/22134468-20191150>
- Tsakiris, M., & Haggard, P. (2003). Awareness of somatic events associated with a voluntary action. *Experimental Brain Research*, 149(4), 439–446. <https://doi.org/10.1007/s00221-003-1386-8>
- Van den Bussche, E., Alves, M., Murray, Y. P. J., & Hughes, G. (2020). The effect of cognitive effort on the sense of agency. *PLoS ONE*, 15(8), e0236809:1–20. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0236809>
- Vastano, R., Pozzo, T., & Brass, M. (2017). The action congruency effect on the feelings of agency. *Consciousness and Cognition*, 51, 212–222. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2017.04.002>
- Villa, R., Tidoni, E., Porciello, G., & Aglioti, S. M. (2018). Violation of expectations about movement and goal achievement leads to Sense of Agency reduction. *Experimental Brain Research*, 236(7), 2123–2135. <https://doi.org/10.1007/s00221-018-5286-3>
- Vosgerau, G., & Synofzik, M. (2012). Weighting models and weighting factors. *Consciousness and Cognition*, 21(1), 55–58. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2011.09.016>
- Wegner, D. M., Sparrow, B., & Winerman, L. (2004). Vicarious agency: Experiencing control over the movements of others. *Journal of Personality and Social Psychology*, 86(6), 838–848. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.86.6.838>
- Wegner, D. M., & Wheatley, T. (1999). Apparent mental causation: Sources of the experience of will. *American Psychologist*, 54(7), 480–492. <https://doi.org/10.1037/0003-066X.54.7.480>
- Wen, W. (2019). Does delay in feedback diminish sense of agency? A review. *Consciousness and Cognition*, 73, 102759:1–9. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2019.05.007>
- Wen, W., Yamashita, A., & Asama, H. (2015a). The sense of agency during continuous action: Performance is more important than action-feedback association. *PLoS ONE*, 10(4), e0125226:1–16. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0125226>
- Wen, W., Yamashita, A., & Asama, H. (2015b). The influence of action-outcome delay and arousal on sense of agency and the intentional binding effect. *Consciousness and Cognition*, 36, 87–95. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2015.06.004>
- Wohlschläger, A., Engbert, K., & Haggard, P. (2003). Intentionality as a constituting condition for the own self - And other selves. *Consciousness and Cognition*, 12(4), 708–716. [https://doi.org/10.1016/S1053-8100\(03\)00083-7](https://doi.org/10.1016/S1053-8100(03)00083-7)
- Wolpe, N., Haggard, P., Siebner, H. R., & Rowe, J. B. (2013). Cue integration and the perception of action in intentional binding. *Experimental Brain Research*, 229(3), 467–474. <https://doi.org/10.1007/s00221-013-3419-2>
- Wolpert, D. M., & Ghahramani, Z. (2000). Computational principles of movement neuroscience. *Nature Neuroscience*, 3(S11), 1212–1217. <https://doi.org/10.1038/81497>
- Yoshie, M., & Haggard, P. (2013). Negative emotional outcomes attenuate sense of agency over voluntary actions. *Current Biology*, 23(20), 2028–2032. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2013.08.034>
- Zito, G. A., Wiest, R., & Aybek, S. (2020). Neural correlates of sense of agency in motor control: A neuroimaging meta-analysis. *PLoS ONE*, 15(6), e0234321:1–17. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0234321>