МОТИВАЦИЯ И МОЗГ: шаг вперёд стоя на месте

ПсиБлог

ПСИБЛОГ.РФ

Мотивация –малоизученная тема. Исследование мотивационных процессов продвигается медленно по причине междисциплинарной рассогласованности: до сих пор нет точного определения этого понятия, как нет и общей теории мотивации, способной концептуально обобщить механизмы и процессы, лежащие в основе этого явления. Отдельной проблемой является диагностика мотивации: методы измерения, которые использует научное сообщество сегодня, не способны предоставить точных данных, потому что не учитывают скрытый и динамичный ее характер.

Среди современных наук, занимающихся исследованием этой области, наибольшее количество ответов даёт нейрология, определившая процессуальность мотивации, которая складывается из трёх последовательных и контролируемых в одной локус-точке субпроцессов: **формирования, поддержания и контроля мотивации**. Профессор Корейского Университета в Сеуле Сун-ил Ким предлагает опытную нейрологическую модель мотивационного процесса, которая, по его мнению, может объединить все имеющиеся данные о мотивации, удовлетворив запросы специалистов разных научных областей и облегчить процесс дальнейшей работы по ее изучению. Эта модель включает 3 различных по продолжительности субпроцесса: ориентировка на выгоду, принятие решений на основе значимости и целенаправленный контроль.

Ориентировка на выгоду – это процесс, в котором мотивация формируется исходя из ожидания вознаграждения. Очаг возбуждения отвечающий за этот процесс расположен в вентральном стриатуме – области мозга, которая участвует в обработке явных стимулов. В ней формируется базовая связь между стимулом и действием, так же известная как автоматическая мотивация (задействующая сравнительно меньше осознанного внимания).

Следующая стадия – **принятие решений на основе значимости** – это процесс оценки выгоды действия. Он задействует орбитофронтальную кору – область оценки, которая играет значительную роль в поддержании мотивации.

И, наконец, **целенаправленный контроль** – когнитивный (корковый) процесс управления мотивацией посредством сличения результатов с достигнутой целью. Это сознательно контролируемая мотивация, связанная с высоким уровнем функции планирования, сохранения цели, контроля выполнения задания. Эти три субпроцесса взаимодействуют друг с другом посредством передачи сигналов из одной области мозга в другую.

Нейрологическая модель мотивационного процесса может быть использована при разработке стратегий учения. Во-первых, наиболее полное понимание субпроцессов поможет использовать стимулы для формирования, поддержания и контроля мотивации учащихся. В частности, модель Сун-ил Кима опровергает эффективность негативных отзывов учителя на деятельность детей: отрицательная обратная связь не может мотивировать ребёнка в связи с медленным развитием префронтальной коры в детском и подростковом возрасте. Профессор подчёркивает важность вознаграждения, причём не физического, а социального: комплиментов, приятных мероприятий, интересных материалов, положительной обратной связи. Однако повторение одного и того же комплимента со временем снижает мотивацию, поэтому учителя должны выбирать разнообразный контекст обучения и чередовать стимулы.

С другой стороны, необходимо учесть внутренние процессы учащихся, связанные со способностью поддерживать мотивацию. Поскольку первичная мотивация снижается,

когда стимулы обесцениваются, а для поддержания высокого уровня мотивации значимость действия должна быть высоко оценена, необходимо помогать учащимся формировать и учитывать их долгосрочные цели. Разработка программы развития этих навыков способна решить основные проблемы, связанные с обучением и мотивацией.

Учитывая особенности каждого из указанных субпроцесов, можно преодолеть барьеры в выполнении повседневных профессиональных и учебных задач, сделав эту деятельность максимально эффективной.
ПСИБЛОГ.РФ

Подробнее об исследовании можно прочитать в научной статье.

ПсиБлог

Статья подготовлена по материалам: Sung-il Kim, Neuroscientific model of motivational process, Frontiers in Psychology, 04 March 2013

Нейрологическая модель мотивационного процесса

Сун-ил Ким, Frontiers in Psychology, 04 March 2013

Используемые сокращения:

ОФК – орбитофронтальная кора (OFC)
ППК – передняя поясная кора (ACC)
ДЛПФК – дорсолатеральная префронтальная кора (DLPFC)
ВОП – вентральная область покрышки (VTA)
ПЯ – прилежащее ядро (NAcc)
МПФК – медиальная префронтальная кора (MPFC)
ОПВ – ошибка прогнозирования вознаграждения (RPE)

Введение

С тех пор, как были выдвинуты теории биологических мотивов, таких как голод, жажда и секс, проводятся исследования различных аспектов человеческой мотивации с целью расширить её концептуальные границы и понять её динамику. В результате у нас появились основные психологические теории о мотивации, включая теорию стимулированного обучения, теорию потребностей, теорию атрибуции, теорию самоэффективности, теорию самоопределения, теорию ожидаемой ценности, теорию достижения цели, теорию интереса и теорию саморегулирования. Нет никаких сомнений, что эти теории способствовали углублению нашего понимания сложной человеческой мотивации, но предлагаемая модель даёт шанс преодоления фундаментального ограничения традиционных теорий.

Существующие теории мотивации несут некоторые ограничения. Во-первых, неопределенность понятия мотивации. Практически невозможно провести четкую грань между мотивацией и другими понятиями, такими как импульс, потребность, намерение, желание, цель, ценность и воля. Из-за этой концептуальной неопределенности трудно прийти к консенсусу, относится ли мотивация к психологическому состоянию или процессу, не говоря уже о её точном определении. Различные концепции накладываются друг на друга и часто создают путаницу. Например, различия между внутренней мотивацией и заинтересованностью, самоэффективностью и мнимой компетентностью, ценностью и наградой, саморегулированием и волей препятствуют эффективной коммуникации и конструктивной аргументации феномена мотивации.

Вторым ограничением является отсутствие всеобъемлющей теории о мотивации. Хотя было предложено несколько теорий, каждая из которых покрывает только определённую долю и страдает от нехватки глубокого понимания мотивационного процесса в целом.

Третье ограничение – измерение мотивации. Выбор действия, частота и постоянство действия и степень времени и усилий, вложенных в поддержание действия являются прямыми показателями мотивации. Хотя эти измерения могут быть получены с помощью объективно долгосрочного наблюдения, из-за практических ограничений они в основном проводятся в форме самостоятельной оценки психологических компонентов, которые тесно связаны с измерением поведенческих реакций. Однако, поскольку мотивация носит скрытый и динамичный характер, измерение посредством самостоятельной оценки серьёзно ограничивается сознательно доступным аспектом мотивации.

Из-за этих ограничений в школах или на рабочих местах до сих пор не произошло практических нововведений на основе исследований мотивации. Для эффективных мотивационных мероприятий необходимо установить четкое определение мотивации и выявить общую концептуальную основу, которая объединит различные точки зрения. Измерение схемы активации мозга с использованием методов нейровизуализации может стать комплементарным способом преодоления упомянутых выше ограничений. Обнаружение изменений в мозге во время выполнения задания позволяет понять динамический, но скрытый характер мотивации.

Предложенная модель мотивационных процессов фокусируется на различных этапах мотивации. Она основана на общих свидетельствах когнитивной нейронауки, аффективной психофизиологии, социальной нейробиологии, нейробиологии развития и нейроэкономике. Чем больше сходных данных из различных уровней объяснения, тем более точным становится понимание этого явления. То же самое относится и к мотивации. Различные единицы анализа и уровни объяснения должны сопутствовать друг другу и сходиться во всех точках зрения – от молекулярной до социокультурной.

Нейронный уровень объяснения описывает явление мотивации как функцию вентрального стриатума, участвующую в стимулированном обучении, функцию орбитофронтальной коры головного мозга (ОФК), связанную с субъективной оценкой и принятием решений, а также передней поясной коры (ППК) и дорсолатеральной префронтальной коры головного мозга (ДЛПФК), связанных с исполнительной функцией и когнитивным контролем. С другой стороны, единицы анализа на поведенческом уровне объяснения относятся к частоте и персистенции действия, степени усилия и вовлечённости, выбору подхода и поведению избегания, регуляционному поведению, и т.д. Психологический уровень объяснения в основном рассматривает в качестве основных единиц анализа такие механизмы, как вознаграждение, ожидание, ценность, цель, атрибуция, компетентность, заинтересованность и саморегулирование. Тем не менее, они несколько неоднозначны и перекрывают психологические механизмы, которые могут не соответствовать единицам анализа на нейронном уровне. С быстрым продвижением в области нейробиологии, справедливость и концептуальная ясность этих психологических механизмов может быть дополнена нейрологическими свидетельствами, и, таким образом, активизируется фундаментальное переосмысление на психологическом уровне (например, Ранжел и коллеги, 2008; Хитертон, 2011).

В этой статье я сосредоточился на удовольствии, ценности и цели в качестве основных единиц анализа на психологическом уровне, поскольку лежащие в их основе нейронные механизмы были в значительной степени изучены и относительно хорошо определены. Я также предлагаю нейрологическую модель мотивационных процессов, в которых мотивация рассматривается как динамический процесс, и понимается как ряд

детальных субпроцессов генерации, поддержания и регуляции мотивации. Я объясню формирование мотивации с точки зрения процесса ориентировки на выгоду; поддержание мотивации с точки зрения процесса принятия решений на основе значисмости; а также регуляцию мотивации с точки зрения процесса целенаправленного контроля.

Формирование мотивации: ориентация на выгоду

РОЛЬ ВОЗНАГРАЖДЕНИЯ

Одна из мощнейших переменных, влияющих на мотивацию – это вознаграждение, независимо от его типа (физическое или социальное). Основная функция вознаграждения – вызвать положительные эмоции, увеличить частоту целевого поведения, и, следовательно, предотвратить затухание (Шульц, 2004). В результате, организм ищет сигналы, прогнозирующие награду, получает связь стимул-вознаграждение, кодирует значение вознаграждения, и принимает решение о поведении приближения или избегания для получения устойчивого вознаграждения. Тем не менее, если принимать во внимание ассоциативное обучение через вознаграждение, вознаграждение на основе принятия решений и контроль поведения для получения вознаграждения, механизм вознаграждения непрост. Обработка вознаграждения состоит из последовательных вспомогательных процессов, таких как предвкушение вознаграждения, связь вознаграждения с поведением, планирование получения награды, кодирование значения награды, а также корректировка относительной величины вознаграждения. Таким образом во время обработки вознаграждения задействуются различные области мозга.

Основные области мозга, связанные с вознаграждением, формируют путь допамина, широко известный как путь награды. Допамин является нейромедиатором, который производится в вентральной области покрышки (ВОП), проходит через бледный шар и высвобождается в прилежащем ядре (ПЯ) – центре удовольствия, расположенном в стриатуме. Этот путь разделяется на мезолимбическую систему и мезокортикальную систему. Мезолимбическая система, где нейроны ВОП соединены с ПЯ, септой, миндалиной и гиппокампом; мезокортикальная система – это связь между медиальной префронтальной корой (МПФК), ППК и околоносовой корой. Мезолимбическая система отвечает за ожидание вознаграждения и научение, в то время как мезокортикальная система предполагает относительную величину вознаграждения.

ОФК, миндалины и ПЯ – это участки мозга, которые постоянно участвуют в обработке вознаграждения (например, Хабер и Кнутсон, 2010). ДЛПФК, МПФК и ППК также имеют отношение к обработке вознаграждения, но основные функции этих областей больше связаны с исполнительной функцией в достижении цели (Миллер и Коэн, 2001; Уолтер и коллеги, 2005). Система ОФК-миндалина-ПЯ реагирует не только на первичные вознаграждения, как еда или сексуальное возбуждение, но и на второстепенные, как деньги и социальное вознаграждение, включая словесную похвалу или сотрудничество (Риллинг и коллеги, 2002; Крингельбах и коллеги, 2003; Изума и коллеги, 2008). В частности, ПЯ, известное как центр удовольствия, активируется, когда ожидается или получено множество вознаграждений. Например, ПЯ активируется, когда людям предоставляется любимый стимул, во время занятий любимой активностью, во время курения, слушании шуток, и даже когда человек ощущает любовь (Арон и коллеги, 2001; Моббс и коллеги, 2003;. Арон и коллеги, 2005). В противоположность этому, некоторые исследования показывают, что миндалина, которая, как известно, отвечает на условия, связанные со страхом и отрицательным стимулом, интенсивно чувствительна, а не валентно чувствительна (Андерсон и коллеги, 2003; Смолл и коллеги, 2003).

В случае, если первичное вознаграждение является необходимым для выживания, и все виды автоматически запрограммированы на него, вентральный стриатум,

включающий ПЯ, формирует связь поведение-результат. Тем не менее, в случае условного среднего вознаграждения, ОФК кодирует и представляет ассоциативное значение награды, и обновляет значение для будущего процесса принятия решения. ОФК является главной областью мозга для оценочного суждения (Грабенхорст и Роллз, 2011). В частности, медиальная ОФК чувствительна к вознаграждению, в то время как боковая ОФК чувствительна к наказанию (О'Доэрти и коллеги, 2003). Трамбле и Шульц (1999) обнаружили, что ОФК не реагирует на абсолютную величину вознаграждения, но вычисляет относительную величину вознаграждения и реагирует только на более предпочтительные вознаграждения. Этот вывод согласуется с принципом Премака, в котором говорится, что награда весьма субъективна и относительна, и наводит на мысль, что не существует такой вещи, как универсальное вознаграждение, которое выходит за рамки индивидуальных особенностей и специфики ситуации.

Исследования социальной биологии обнаружили, что социальные и физические вознаграждения и наказания активируют одну и ту же область мозга (Либерман и Айзенберг, 2009). Другими словами, социальные выгоды, такие как репутация, признание, сотрудничество и альтруистическое поведение активизируют сеть, связанную с вознаграждением, которая активируется во время физического удовольствия. Социальные аверсивные стимулы, такие как социальное отчуждение, несправедливое обращение и социальное сравнение, активизируют участки мозга, связанные с болью. Эти результаты свидетельствуют о том, что социальное подкрепление и наказание так же мощны и эффективны, как физическое вознаграждение и боль. Важно исследовать вопрос о том, активизируют ли социальные стимулы, такие как комплимент, поощрение, поддержка, сопереживание, сотрудничество, лояльность и альтруистическое поведение, путь вознаграждения у детей и подростков, а также спроектировать обучающую среду, обеспечивающую устойчивую активацию путей вознаграждения. Основываясь на этих выводах о том, как притеснение, нормативная классификация, конкуренция, дискриминация, наказание и штрафные санкции в школах влияют на развитие мозга учащихся, можно предложить возможные решения, чтобы минимизировать эти демотивационные факторы среды обучения. Ким и коллеги (2010), например, провели исследование, где учащимся предоставили обратную связь по их исполнению в виде абсолютной оценки и относительной оценки, во время чего были сопоставлены их схемы активизации мозга. Результат показал, что, когда относительная оценка была дана учащимся с низким уровнем компетентности, миндалина – область мозга, связанная с отрицательными эмоциями – активизировалась, даже если валентность обратной связи не была отрицательной. Это говорит о том, что сравнительную оценку следует использовать с осторожностью, особенно для учащихся с низким уровнем компетентности, поскольку она производит негативное влияние вне зависимости от их фактического исполнения.

Одним из важных вопросов в отношении вознаграждения является различие между внутренней и внешней мотивацией. Можно ли биологически различать их и найти отдельные нейронные механизмы, лежащие в основе каждого типа мотивации? В поддержку данного тезиса не было найдено ни одного нейрологического свидетельства. К тому же, внешняя ценность для конкретного поведения довольно часто совмещена с внутренней. Поскольку каждая награда имеет определенное значение, которое вычисляется субъективно, в процессе вычисления не имеет существенного значения, является ли источник значения внутренним или внешним.

Люди мотивированы на поведение, способствующее достижению желаемого результата и избеганию негативных последствий. Но при быстро меняющихся обстоятельствах, когда следствие действия является неопределенным, необходимо принять решение: придерживаться своей текущей стратегии или искать новые

альтернативы. Компромисс между этими двумя вариантами известен как дилемма исследования и эксплуатации в стимулированном обучении (Саттон и Барто, 1998). В исследовательском обучении, где ищутся новые альтернативы, активизируются фронтополярная кора и внутритеменная борозда, ответственная за оценочное суждение и умозаключение (Доу и коллеги, 2006). С другой стороны, в эксплуатационном обучении, где привычное принятие решений происходит на основании предшествующего опыта, активизируются стриатум и МПФК. То есть, стриатум и миндалины ответственны за поведение приближения и избегания соответственно, модулируемое в префронтальной коре. Согласно исследованиям в области развития головного мозга, ПЯ, чувствительное к награде, показывает быстрое развитие в подростковом возрасте, в то время как миндалина, которая играет ключевую роль в избегании опасности, показывает довольно медленное развитие, а префронтальная кора головного мозга, отвечающая за контроль действий, развивается ещё медленнее (Эрнст и коллеги, 2005; Кейси и коллеги, 2008). Таким образом, подростки могут продемонстрировать поведенческие тенденции, которые более близки к эксплуатации, чем к исследованию. Этот дисбаланс между лимбической системой и префронтальной корой в развитии мозга подростков дает представление об их импульсивном и рискованном поведении, направленном на поиск острых ощущений.

В испытании на чувствительность к вознаграждению подростки показали более сильную активизацию ПЯ при получении награды, чем взрослые (Гальван и коллеги, 2006; Эрнст и Фадж, 2009), но во время ожидая награды сложилась противоположная ситуация (Бьёрк, 2004). Кроме того, во взрослом мозге, ОФК активизировалась, когда ожидаемая награда не была предоставлена (Ван Лейенхорст, 2010). Это говорит о том, что существующая система ценностей взрослого, вероятно, обновляется, чтобы продолжать попытки получения награды, когда ожидаемая награда не получена. Подростки, как известно, более чувствительны к вознаграждению или положительной обратной связи, но меньше к наказанию или отрицательной обратной связи, чем взрослые (Бьёрк и коллеги, 2004). Сравнение активации мозга по возрастным группам показало дифференциальный паттерн активации в ДЛПФК. У детей в возрасте 8-9 лет он активизируется во время получения положительного отзыва, в то время как у детей в возрасте 11-13 лет он был активирован в ответ на положительные и отрицательные отзывы. У взрослых в возрасте 18-25 лет он был активирован только во время получения отрицательного отзыва (Дуайвенворд, 2008). Эта разница развития предполагает, что отрицательная обратная связь не может быть эффективной для маленьких детей в связи с медленным развитием префронтальной коры.

РАЗЛИЧИЕ МЕЖДУ СИМПАТИЕЙ И ЖЕЛАНИЕМ

Внутренне мотивированная деятельность не обязательно сопровождается гедоническим наслаждением. Например, футболист может иметь сильную внутреннюю мотивацию для игры в футбол, но он не всегда и не обязательно испытывает удовольствие во время физической тренировки. Спонтанные целенаправленные действия по своей сути мотивированы, но инструментальные действия для достижения цели могут быть временно неприятны. Утверждение, что удовольствие и наслаждение не являются достаточными условиями для внутренней мотивации, набирает признание. Согласно Берриджу (2007), положительные эмоции и внутренняя мотивация не совпадают все время, и находятся в ведении различных физиологических механизмов. Другими словами, настойчивый подход к конкретному раздражителю не обязательно означает, что субъекту нравится стимул. Берридж и Робинсон (2003) предположили, что награда имеет два значения; гедоническое значение отражает степень симпатии, значение стимула отражает степень желания. В то время как симпатия является пассивным состоянием, в котором качество стимула

оценивается после обработки, желание — состояние активное, в котором стимул преследуется перед обработкой.

Олдс и Милнер (1954) провели плодотворный эксперимент с функциями ПЯ, известного как центр удовольствия, с использованием коробки Скиннера. Электрод, соединенный с рычагом, был имплантирован в ПЯ крысы таким образом, чтобы ПЯ стимулировалось всякий раз, когда крыса давит на рычаг. Крыса нажимала на рычаг без остановки на приём пищи, пока не потеряла силы. Поскольку провести самостоятельную оценку было невозможно, чтобы проверить, действительно ли электрическая стимуляция доставляла крысе удовольствие, необходим был новый метод измерения эмоций. Широко используемый метод измерения удовольствия и боли у младенцев или животных – анализ выражений лица в ответ на различные виды вкуса. Он является универсальным показателем эмоций у разных видов (Берридж, 2000). Исследование на животных показало, что при активации ПЯ крысы наркотиками, такими как кокаин, аффективное выражение в ответ на наркотики демонстрировало антипатию (Берридж и Валенштейн, 1991). Это может частично объяснить, почему наркоманы постоянно хотят наркотик, но на самом деле он им не нравится. Берридж (2003) также показал, что области мозга в ПЯ, ответственные за симпатию и желание, анатомически разделены. Эти данные поддерживают идею, что постоянные действия, направленные на получение конкретного стимула, не обязательно осуществляются в поиске удовольствия, и желание может случиться без симпатии. В противоположность этому, симпатия без желания показана в исследовании, где высвобождение допамина подавлено неудачей или антагонистами допамина. В этом случае желание по отношению к награде не было проявлено, но снижения степени симпатии к вознаграждению не наблюдалось (Берридж и Робинсон, 2003). Следовательно, можно сделать вывод о том, что допамин играет ключевую роль в желании в отношении стимула, но это не влияет на симпатию к стимулу.

Теории внутренней мотивации и интереса предполагают, что люди по своей природе мотивированы на постоянное участие в деятельности, когда они испытывают удовольствие и наслаждение (Сисикзентмайли, 2000; Райан и Деси, 2000; Хиди и Реннингер, 2006). Однако, если симпатия и желание диссоциированы, мотивация не формируется чувством удовольствия или симпатии без наличия желания или стимула. Это означает, что желание конкретного объекта или вида деятельности не может восприниматься как мотивационное состояние и что симпатия не является необходимым условием для формирования мотивации. С этой точки зрения, симпатия относится к эмоциональному состоянию, тогда как желание больше связано с мотивацией (Берриджу и Олдридж, 2008). Существует необходимость тщательного пересмотра аргумента, что школьная деятельность должна быть приятной для создания мотивации, потому что удовольствие и наслаждение не могут автоматически привести к мотивации.

Другая гипотеза о функции ПЯ в том, что допамин играет определенную роль в поведении, связанном с усилием. Традиционная гипотеза, что допамин связан с функцией вознаграждения, в последнее время придаётся критике. Эти критические замечания основаны на данных о том, что дофаминергическая система ПЯ не участвует в удовольствии, имеющем отношение к положительному подкреплению, а отвечает за активацию функций, связанных с поведением и усилием (Саламон и коллеги, 2007). Исследование влияния доз допамина на животных показало, что истощение допамина привело к увеличению времени отклика и ухудшению выполнения задач высокого усилия. Кроме того, крысы с недостаточным уровнем допамина склонны выбирать задачи, требующие меньше усилий (Саламон и коллеги, 2005). Согласно этим исследованиям, дофаминергическая система ПЯ может модулировать регуляцию усилия, а не функции, связанные с вознаграждением. Области мозга, связанные с принятием решений на основе

усилия, включают в себя обширную цепь от таламуса, миндалины, ППК в префронтальную кору, но ключевой зоной взаимодействия с этими областями является ПЯ.

Поддержание мотивации: принятие решений на основе значений

ОБУЧЕНИЕ И ОШИБКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВОЗНАГРАЖДЕНИЯ

Мотивация не поддерживается без обучения и запоминания. Поведение приближения-избегания усваивается, и целенаправленное поведение зависит от рабочей памяти. Запоминание действий, которые приводят к положительным или отрицательным результатам, является полезным в адаптации, поэтому связь стимул-действие-результат выучивается, и действия становятся привычными и автоматическими. Допамин, как известно, в основном связан с вознаграждением и удовольствием, но это нейромедиатор, который также играет важную роль в двигательной активности, обучении и памяти (Уайс, 2004). Недостаточный уровень допамина вызывает ригидность и паралич, наблюдаемые у пациентов с болезнью Паркинсона, в то время как слишком высокий уровень допамина может привести к поведенческим расстройствам, таким как шизофрения, расстройство импульсного контроля, синдрому дефицита внимания и наркомании. После инъекции допамина в качестве лечения болезни Паркинсона пациенты показали заметное увеличение компульсивного поведения, например, участие в азартных играх или расстройства пищевого поведения (Дагер и Роббинс, 2009).

Согласно теории стимулированного обучения, параметры обучения зависят от высвобождения допамина (Монтаг и коллеги, 1996). Положительное подкрепление, сопровождающееся привлекательными стимулами, и отрицательное подкрепление с удалением аверсивных стимулов одинаково увеличивают выпуск допамина, который, в свою очередь, увеличивает частоту целевого поведения и приводит к ассоциативному научению между стимулами и поведением. Мощная связь стимул-действие-выгода выучивается через неоднократные ассоциации с нейтральными стимулами (средового стимула или психологического состояния). Первоначальное вознаграждение за выбранное действие трудно предсказать, поэтому эффект вознаграждения максимизируется. Эта разница между ожидаемым и фактическим вознаграждением упоминается как ошибка прогнозирования вознаграждения (ОПВ), которая кодируется допаминергическими нейронами. Чем больше ОПВ, тем больше допамина высвобождается. В исследовании, проведенном Шульц и коллегами (1997), была исследована реакция одного нейрона допамина. На раннем этапе обучения, когда шимпанзе не ожидали награды, нейрон допамина активизировался при получении награды. Однако, когда из-за дальнейшего повторения награда уже ожидалась, нейрон допамина был активирован только тогда, когда были даны сигналы вознаграждения, и он не был активирован при получении награды. Когда ожидаемая награда не была дана, нейрон допамина был подавлен. Это ясно показывает, что достаточно только предвкушения вознаграждения, возникающего из-за различных условных раздражителей, связанных с вознаграждением или наказанием, для повышения интенсивности высвобождения допамина и, следовательно, для генерации целевого поведения. Это очень выгодный способ обучения с точки зрения адаптации.

Есть два типа ОПВ: положительные и отрицательные (Шульц, 2006). Положительная ОПВ генерируется, когда результат лучше, чем ожидалось, или даются неожиданные награды, в то время как отрицательная ОПВ генерируется, когда результат хуже, чем ожидалось, или пропущены ожидаемые выгоды. Чем больше положительная ОПВ, тем больше удивление, следовательно, эффективнее обучение. Повторное использование наград, однако, увеличивает ожидание вознаграждения, уменьшая положительную ОПВ, таким образом она достигает асимптоты (близка к нулю). По этой причине, типичные кривые обучения отрицательно ускоряются, что свидетельствует о том, что быстрый рост

происходит на ранних этапах обучения, но этот прирост становится меньше на более поздних этапах.

Для поддержания мотивации студентов к целевому поведению должно высвободиться определенное количество допамина во время или после осуществления целевого поведения. Допамин может быть высвобожден положительной ОПВ всякий раз, когда появляются неожиданные положительные результаты. В тот момент действие поддерживается, пока результат привычного действия является удовлетворительным. Для того, чтобы максимизировать обучение, важно обеспечить относительно новые подкрепления для увеличения положительной ОПВ. Это согласуется с теорией интереса, которая постулирует важность предоставления неожиданных стимулов, которые могут быть разрешены позже, например, новые или неожиданные раздражители с когнитивным разрывом или конфликтом (Берлин, 1974; Ким, 1999). Тем не менее, одна из дилемм педагогов заключается в том, что любой вид обучения требует практики через повторение, что, как правило, подрывает мотивацию. Таким образом, если преподаватели не могут избежать повторения учебного материала, то они должны ввести новую учебную деятельность или новый контекст обучения для получения положительной ОПВ.

Ярким примером связи мотивации и обучения является зависимость. За исключением серьезных сбоев в управляемости, поведение зависимого – не только наиболее сильно мотивированное действие, но и результат максимального научения. После того, как стала известна связь сигнал-награда, роль сигнала для активации системы допамина возрастает, но роль награды как таковой становится все меньше. Это происходит потому, что мозг имеет сильную тенденцию к снижению высвобождения допамина, когда награда ожидается (Селф, 2003). Тем не менее, в случае с психоактивными веществами, алкоголем или кокаином, допамин высвобождается чрезмерно без типичного процесса научения. В результате, усиление памяти или патологическое обучение индуцируется распознанием этих веществ как явного вознаграждения (Химан и коллеги, 2006). Это объясняет, почему так трудно справиться с зависимостью и почему только одно воздействие может привести к рецидиву даже после длительного периода воздержания. Поведенческие пристрастия, включая пристрастие к онлайн-играм, которое распространено среди подростков, демонстрирует аналогичную картину зависимости (Грант и коллеги, 2006), но для выявления более точного механизма должны быть проведены более систематические исследования.

ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ И ВЫБОР ДЕЙСТВИЯ

Многочисленные модели поведения в повседневной жизни определяются путем выбора альтернативы: продолжать или прекратить действия. Выбор действия является частью процесса принятия решений на основе оценки значимости. Чем выше значимость результата выбранного действия, тем больше возможность выбора его позже. Рангел и коллеги (2008) выделили три различных типа систем оценки, которые играют существенную роль в процессе принятия решений: Павловская, привычная и целенаправленная. Павловская система оценивает значения по отношению к явному стимулу. Сеть миндалины, ПЯ и ОФК, участвует в этом процессе. Привычная система оценивает значение связи стимул-отклик, следующей за наградой. Корково-таламическая петля и петля дорсального стриатума являются основными областями мозга этой системы. И, наконец, целенаправленная система вычисляет связь действие-результат и оценивает вознаграждение за другие действия. За этот процесс отвечают ОФК и ДЛПФК. Рассмотрим пример принятия решений на основе значимости. Павловская система оценивает стоимость конкретного учебного предмета, например, английского, привычная система

оценивает действие изучения английского вокабуляра каждое утро, и целенаправленная система определяет, какому предмету уделить особое внимание во время отпуска.

Чтобы сделать эффективный выбор, необходимо оценить потенциальную значимость действия, которая отражает вероятность его желаемых результатов. В области экономики и психологии это называется ожидаемой полезностью. Мозг должен рассчитать ожидаемое значение до того, как выбор сделан. В эксперименте, где манипулировалась величина и вероятность награды, активация ПЯ показала положительную корреляцию с величиной ожидаемой награды и положительных эмоций, а также активность МПФК имела положительную корреляцию с вероятностью получения вознаграждения (Нутсон и коллеги, 2005). Этот вывод указывает на то, что субкортикальная структура отвечает главным образом на физические свойства и эмоциональный аспект вознаграждения, в то время как префронтальная кора головного мозга принимает более активное участие в вычислительной функции более высокого порядка, связанного с вероятностью получения вознаграждения. В случае, когда от выбора получен неожиданный результат, требуется перевычисление или уточнение значение действия. Таким образом, дети и пожилые люди с низкой функцией префронтальной коры головного мозга, как правило, находят это трудным (Брэнд и Маркович, 2010).

ОФК, область мозга, отвечающая за оценочные суждения и принятие решений, также известна как область вознаграждения, но её роль в обработке вознаграждения неоднозначна (Крингельбах, 2005). Исследования на животных показали, что животные с повреждениями ОФК были способны к нормальной обработке вознаграждения. Они были в состоянии выполнять действия, чтобы получить награду, выучить связь между стимулами и новыми наградами, и отличить наличие награды от её отсутствия (Искьердо и коллеги, 2004; Рудебек, 2006). Это указывает на то, что основная функция ОФК состоит в интеграции всех аспектов информации, вычислении значения результата выбора и представлении его в рабочей памяти (Монтекки и Бернс, 2002). Согласно гипотезе соматического маркера Дамасио (1996), соматические состояния, связанные с различными эмоциями, которые сформировались в процессе оценки действия, влияют на окончательное решение. Функция ОФК в этом процессе заключается в кодировании соматического состояния, связанного со схемой среды, и пересчёт значения для принятия решений в будущем. Исследование нейровизуализации показало, что ОФК отвечает не только на сенсорные стимулы, которые побуждает приятный-неприятный запах или звук, но и на абстрактную награду и наказание, такие как выгода или потеря денег (Роллз и Грабенхорст 2008). ОФК находится в тесной связи с соседними префронтальными областями и постоянно взаимодействует с ними в поиске более эффективного принятия решений. Более конкретно, ОФК вычисляет значение, в то время как ДЛПФК сохраняет эту информацию, чтобы планировать действия за вознаграждения, а МПФК оценивает усилия, необходимые для выполнения плана (Уоллис, 2007; Грабенхорст и Роллз, 2011).

Функция ОФК проясняется, если рассмотреть случаи с повреждением ОФК. Самый известный – случай Финеаса Гейджа, который работал прорабом на железнодорожном строительстве, когда случилась авария, в которой металлический стержень прошёл через его голову. Он выжил и показал нормальные когнитивные способности, но при этом он демонстрировал неустойчивое и импульсивное поведение в социальных взаимодействиях. Этот случай впервые показал возможную связь между префронтальной корой головного мозга, включая ОФК, и социальными навыками. Пациенты с повреждением ОФК не имеют когнитивных нарушений, но показывают серьезные дефекты в ежедневном принятии решений и имеют тенденцию к обсессивно-компульсивному расстройству, зависимости, а также расстройствам пищевого поведения (Камилль и коллеги, 2004). Известно также, что этим пациентам трудно контролировать эмоции, и они, как правило, не испытывают

сожаления (Камилль и коллеги, 2004). Чувство сожаления возникает, когда человек сравнивает результат текущего выбора с возможными альтернативами, но пациенты с повреждением ОФК демонстрируют нарушение контрфактического мышления.

При выполнении игорной задачи пациенты с повреждением ОФК придерживаются выбора высокого риска (низкая вероятность выигрыша), чтобы выиграть большие деньги сразу, и в конечном итоге они теряют все деньги (Бечара и коллеги, 1994). Это импульсивное поведение тесно связано с ПЯ, которое соединено с ОФК. ОФК контролирует немедленную реакцию ПЯ. Если ПЯ не контролируется из-за повреждений ОФК, трудно подавлять импульсивное поведение. Подавляющую роль ОФК в управлении ПЯ можно объяснить основной функцией ОФК –вычисление значений. То есть подавление импульса является результатом решения, действовать или не действовать, принимаемого на основе комплексной оценки значимости. ОФК оценивает значимость ожидаемых результатов каждого действия и их сигналы. Когда ОФК повреждена или недостаточно развит, точный расчет стоимости конкретного действия трудно осуществим, и, скорее всего, будет выбрано импульсивное действие.

Еще одной поведенческой характеристикой, тесно связанной с повреждением ОФК, является трудность реверсивного обучения (Шоенбаум и коллеги, 2007). В парадигме реверсивного обучения, когда случайность стимула-подкрепления изменяется, новая ассоциация стимул-подкрепление запоминается, только если предыдущая реакция изменена. Тем не менее, обезьяна с поражением ОФК не в состоянии контролировать реакции предварительного подкрепления и проявляет персеверации, хотя и не может получить дальнейшее подкрепление (Мишкин, 1964). Это происходит из-за невозможности уточнить значения предыдущих действий посредством отрицательной обратной связи. Таким образом, основной функцией ОФК является расчет и уточнение значения действия посредством выучивания новой связи стимул-подкрепление.

Для детей и подростков, чьи префронтальной регионы, включая ОФК, недоразвиты, отсутствие опыта ограничивает представление о значимости. Поэтому, мы должны информировать их о полезности ценности обучения, давая возможность сделать собственный выбор, а также повысить качество оценочных суждений.

Управление мотивацией: процесс целенаправленного контроля

Как люди управляют мотивацией? Причина, по которой люди не в состоянии настойчиво выполнять задачи и поддаются искушению, в том, что незамедлительное вознаграждение предпочтительнее отсроченного. Субъективные значения вознаграждения меняются в тот момент времени, когда награда выдана: незамедлительность играет относительно важную роль. Если изменить время и величину вознаграждения, предложить несколько вариантов и попросить участников выбрать один, то они испытают конфликт выбора между небольшим, но сиюминутным вознаграждением и большим, но отсроченным. Если вознаграждение задерживается, относительная величина вознаграждения уменьшается. Это называется дисконтированием из-за задержки. Дисконтирование из-за задержки напрямую связано с самоконтролем (Рахлин, 1995) или задержкой удовлетворения (Мишель и Гиллиган, 1964), и очень похоже на сопротивление искушению или подавление импульса. Самоконтроль и отсрочка удовлетворения относятся к способности выбрать более крупную отсроченную награду вместо маленькой сиюминутной.

МакКлюр и коллеги (2004) провели исследование с целью поиска областей мозга, связанных с дисконтированием из-за задержки. Они применяли различные варианты денежного вознаграждения в разное время (например, $ 20 сегодня по сравнению с $ 25 через 2 недели) и сравнивали схемы активации мозга в момент выбора. Результаты

показали, что стриатум и МПФК активировались при выборе немедленного вознаграждения, в то время как лобно-теменная кора головного мозга была активирована при выборе задержки вознаграждения. Это указывает на то, что выбор немедленного вознаграждения активизирует пути вознаграждения и значимости, но для задержки немедленного удовлетворения должны быть вовлечены префронтальная кора головного мозга, которая отвечает за когнитивный контроль.

Что заставляет людей сопротивляться искушению и контролировать мотивацию для постоянной работы на конкретную цель? Контроль импульсов и регулирование мотивации требует детального планирования и исполнения для достижения будущих целей. Когнитивный контроль является центральным процессом, лежащим в основе такого регулирования, в том числе поддержания цели, планирования, мониторинга исполнения, выбора стратегии и оценки результатов. Таким образом, механизм, с помощью которого контролируется импульс, не следует понимать как простое подавление желания; он должен быть истолкован в качестве целенаправленного регулирования когнитивного контроля.

Когнитивный контроль на самом деле является полезной стратегией преодоления трудностей и модуляции мотивации для борьбы с отрицательной ОПВ или отрицательной обратной связью. Когда это происходит, система допамина активизируется меньше, что уменьшает частоту целевого действия, в конечном счете, устраняя заученное действие. Эмоциональные реакции на отрицательную обратную связь не способствуют контролю мотивации. Скорее всего, следует проверить наличие проблем производительности посредством когнитивного контроля и изменения стратегии. Это может привести к более высокой производительности и появлению положительной ОПВ, что в свою очередь стимулирует высвобождение допамина для повышения мотивации и вероятности нового обучения.

Мозговыми регионами, связанными с процессом когнитивного контроля, являются ППК, ДЛПФК и ОФК (Коул и Шнайдер, 2007). ППК, которая отвечает за исполнительные функции, участвует в интеграции познания и эмоций, контроля, сосредоточения внимания, мониторинга производительности, обнаружении ошибок, подавлении реакции, планировании действий более высокого уровня, а также модификации стратегии (Холройд и Коулз, 2002). Дорсальная часть ППК, соединённая с ДЛПФК, отвечающая за рабочую память, участвует в когнитивных функциях. С другой стороны, вентральная часть ППК связана с эмоциональными функциями (Буш и коллеги, 2000).

Исследования социальных когнитивных нейронаук о дисконтировании из-за задержки обнаружили, что индивидуальная изменчивость в самоконтроле была из-за разницы в рабочей емкости памяти (например, Шамош и коллеги, 2008). Метаанализ Шамош и Грей (2008) выявил отрицательную корреляцию ($r = -0,23$) между дисконтированием из-за задержки и интеллектом. Другие исследования также обнаружили, что активация ДЛПФК имеет сильную корреляцию не только с объемом рабочей памяти, исполнительными функциями и интеллектом, но с оценкой успеха задач с задержкой вознаграждения (Нок и Фер, 2007;. Шамош и коллеги, 2008). Задачи с дисконтированием из-за задержки требуют проведения когнитивного и эмоционального контроля одновременно при расчете значимости выбранного действия. Таким образом, люди, способные эффективно использовать рабочую память, имеют преимущества. ДЛПФК задействуется во время поведения с ориентировкой на цель и нисходящих регуляторных процессов, включая поддержание цели, стратегическое планирование и осуществление действия (например, Миллер и Коэн, 2001; Танджи и Хоши, 2008). Поэтому, саморегулирование можно рассматривать как процесс кодирования значимости цели в

вентромедиальной префронтальной коре для принятия целенаправленных решений и их регулирования в ДЛПФК (Харе и коллеги, 2009).

Исследование по вопросу развития мозга в ответ на отрицательную обратную связь, проведенное Крон и коллегами (2008), показало, что аналогичная картина активизации, как у взрослых, была замечена в ОФК для возрастной группы 8-11, и в теменной коре в возрастной группе 14-15, но активизация не была замечена в ППК и ДЛПФК вплоть до возраста 14-15. Поскольку ДЛПФК и ППК – это регионы, связанные с когнитивным контролем, отсутствие активизации означает, что дети и подростки сталкиваются с трудностями в поиске альтернатив после получения отрицательной обратной связи. Поскольку этот факт позволяет предположить, что попытка изменить поведение детей с помощью отрицательной обратной связи может оказаться неэффективным, необходимо разработать соответствующую систему обратной связи для детей и подростков.

Поскольку самоконтроль – это важная познавательная способность, которая связана с широким спектром мер академических достижений, имеет смысл развивать эту способность посредством обучения или программы вмешательства. К счастью, все большее число исследований показывают, что тренировки рабочей памяти улучшает когнитивный контроль (Клингберг и коллеги, 2002, 2005), а также ряд других когнитивных способностей, таких как подвижный интеллект и решение проблем (Йеги и коллеги, 2008). Это говорит о том, что улучшение когнитивной управляемость через тренировку рабочей памяти, вероятно, будет гораздо более эффективным в развитии саморегулирования, чем подчёркивание роли воли и муштрования.

Интегративный взгляд на мотивационные процессы

Объединяя выводы нейрологических исследований на тему вознаграждения, обучения, ценности, принятия решений и когнитивного контроля, я предлагаю предварительную модель мотивационного процесса. В модели мотивационного процесса мотивация определяется как ряд динамических процессов, включая формирование, поддержание и регулирование мотивации, основные функции которых включают подход к награде, обучение через ОПВ, принятия решений на основе значимости и когнитивный контроль преследования цели. Эти субпроцессы взаимодействуют друг с другом посредством передачи сигналов ошибки прогнозирования из стриатума в префронтальной коре.

Во-первых, процесс формирования мотивации представляет собой процесс, в котором поведенческий подход обусловлен ожиданием награды. Это процесс либо выбора поведения приближения или избегания (действовать/не действовать) или выбора действия среди альтернатив – на основе значимости вознаграждения. Причина формирования мотивации для ранее немотивированного действия в том, что награда, которая зависит от конкретного действия, увеличивает ожидание награды, что постоянно вызывает поведение приближения. Формирование мотивации можно судить по частоте и длительности поведения приближения. Вентральный стриатум и миндалина играют существенную роль в этом процессе. Важнейшими факторами процесса формирования мотивации являются явный стимул и предвкушение вознаграждения из прошлого опыта. Наказание и высокий уровень сложности задач не способствуют этому процессу.

Далее, обучение с помощью позитивной ОПВ представляет собой процесс постоянного поддержания мотивации. Связь стимул-действие-вознаграждение выучивается для повышения возможности приобретения последующих вознаграждений. Когда награда выше, чем ожидалось, происходит положительная ОПВ. Чем больше ошибка, тем больше становится удивление обучаемого. И удивление приводит к интенсивному обучению (Камин, 1969; Рескорла и Вагнер, 1972). Выученная связь стимул-

действие-вознаграждение усиливает значение выбранного действия и поддерживает целевое поведение. Оценка отрицательного результата, однако, исчерпывает положительную ОПВ, что в свою очередь уменьшает эффект обучения и значимость действия. В процессе поддержания мотивации положительная ОПВ и оценочное суждение являются решающими факторами, а потери и опыт неудачи мешают. Поддержание мотивации можно измерить с помощью частоты выбора действия, настойчивости и усилия. Стриатум и ОФК являются основными областями мозга, участвующими в поддержании мотивации.

И, наконец, когнитивный контроль отрицательной ОПВ – это процесс саморегулирования в условии неполученного вознаграждения для поддержания целенаправленного поведения и изменения планов и стратегий, чтобы получить новые награды. Когда ожидается, что в результате действия вознаграждение не дается, сила действия уменьшается, и разочарование становится все больше и приводит к снижению подхода приближения, и другие альтернативные действия становятся более привлекательными. Этот соблазн можно подавить успешным когнитивным контролем, например, при получении долгосрочной цели, мониторинге текущей деятельности, создании конкретного плана и выборе новой стратегии. Мотивация может также снижаться, когда вознаграждение ожидается каждый раз, потому что положительная ОПВ перестает увеличиваться. Даже при таких обстоятельствах мотивация может быть повышена за счет вовлечения в целенаправленный когнитивный процесс контроля для установления новой цели, плана и стратегии. Мешают регулированию мотивации моментальный импульс, низкая способность исполнительной обработки, а также отсутствие конкретных целей и планов. Задержка удовлетворения и достижения цели является барометром для регулирования мотивации. ППК и ДЛПФК являются основными нейронными цепями, связанными с процессом регулирования мотивации.

Типичный пример этого мотивационного процесса можно легко найти в академической среде. Рассмотрим ситуацию, когда мотивация студента учиться сформирована, поддерживается и регулируется. Студент без первоначальной мотивации изучать конкретный школьный предмет может образовывать прочные намерения изучить предмет в первый раз в жизни после получения похвалы и признания учителя (ориентация на вознаграждение). Стремление учиться усерднее для получения похвалы учителя неожиданно приводит к лучшим оценкам (положительная ОПВ). Поскольку через ассоциацию стало известно, какие действия необходимо предпринять, чтобы сохранить хорошую оценку, студент будет непрерывно прилагать усилия и поддерживать мотивацию к обучению (принятие решений на основе значимости). Тем не менее, если оценки больше не улучшаются, новый учитель не делает комплименты (отрицательная ОПВ), или студент настолько привыкает к комплиментам, что значимость награды начинает падать (уменьшение положительной ОВП), то, вероятно, возникнет опасность переключения на другие привлекательные стимулы. В этот момент приступая к достижению долгосрочной цели, студент может контролировать текущее состояние выполнения задачи, может изменять план и искать альтернативные стратегии (когнитивный контроль). В результате он может отложить немедленное удовлетворение и добиться успеха в регуляции мотивации.

Образовательное значение

Нейрологическая модель мотивационных процессов может быть применена в образовании для повышения мотивации к обучению. Например, вознаграждение является существенной движущей силой в среде обучения, поскольку поведение приближения не будет происходить без вознаграждения. Для того, чтобы мотивировать немотивированного, процесс обучения должен быть полезным и интересным. Награды не

должны быть материальными. Вознаграждение в классе может стать любым раздражителем, который имеет положительные ожидаемые значения, в том числе положительная обратная связь, похвала, интересная деятельность, полезность, актуальность, социальная поддержка и соотнесённость. Важно узнать и составить список привлекательных стимулов, включая самые разнообразные комплименты, приятные мероприятия, интересные материалы, положительную обратную связь, а также разнообразный и новый контекст обучения, который может активировать цепь вознаграждения у детей и подростков. Поскольку повторение одного и того же комплимента имеет тенденцию к уменьшению положительного ОПВ, желательно вводить различные непредвиденные награды неожиданными способами, чтобы поддерживать мотивацию.

Для поддержания мотивации значение конкретного объекта и действия должно быть достаточно высоким для приведения к выбору действий. Поскольку значение выучивается путем проб и ошибок, обеспечивая выбор условий автономного обучения, было бы полезно для студентов формировать и обновлять свои собственные ценности. Такая практика может в конечном счете развивать участки мозга, связанные с оценкой и принятием решений. Если мотивация снижается, роль внимания и рабочей памяти чрезвычайно важна. Таким образом, необходимо разработать программу подготовки этих исполнительных функций и изучить ее эффективность. К тому же, создание подробной иерархии ближних и дальних целей, разработка конкретных планов действия поможет студентам преодолеть неудачи и искушения. Так как модель мотивационного процесса, предложенная в данной работе только предварительная, для проверки её достоверности требуются дальнейшие исследования.

Образовательная нейробиология является междисциплинарным исследовательским полем, которое создает связь между образованием и развитием, когнитивной, эмоциональной или социальной нейробиологией. Она заинтересована в развитии учебных программ, стратегий и методов обучения, учебных материалов, программ интервенции для улучшения различных видов обучения и в конечном счете, в обеспечении оптимальных условий обучения (Ансари и коллеги, 2012; Ким, 2012). Поскольку образовательная нейробиология является относительно новым академическим полем, создание систематической исследовательской парадигмы наряду с проведением интенсивных исследований должно в значительной степени способствовать актуализации образовательных установок. С накоплением результатов исследований в области образовательной нейробиологии большой прогресс достигается в выучивании и развитии познавательных, эмоциональных и социальных навыков. Тем не менее, исследования по мотивации, безусловно, нуждаются в большем внимании. Нейробиологические исследования по мотивации имеют свои преимущества в постижении неявных и динамических аспектов мотивационных процессов, так как наблюдение и самостоятельная оценка выявляют ограничения. Выбор темы исследования, которая содержала бы сильную экологическую валидность в образовательных учреждениях, приобретает решающее значение. В частности, больше внимания следует уделить прагматическому исследованию для повышения мотивации учащихся к обучению. Например, если мы сможем понять нейронные механизмы, лежащие в основе мотивационных явлений, таких как интерес, любопытство, принятие решений, пристрастие, рискованные действия и саморегулирование, можно будет разработать системы обучения, основанные на интересе; новые интересные курсы и тесты, не содержащие угрозу, а также программы тренировки самоконтроля. Особенности развития нервной системы у детей и подростков также должны быть приняты во внимание для оптимизации функций мозга, связанных с мотивацией. Нейрологический подход также может способствовать решению спорных

вопросов в существующих теориях мотивации, а также предложить творческие теории мотивации, помимо традиционных.

Конфликт интересов

Авторы заявляют, что исследование было проведено в отсутствие каких-либо коммерческих или финансовых отношений, которые могли бы быть истолкованы как потенциальный конфликт интересов.

Благодарность

Это исследование было поддержано программой WCU (World Class University), финансируемой Министерством Образования, науки и технологии Кореи, отправленное в Корейский фонд науки и техники (грант №. R32-2008-000-20023-0).