

Традиционные теории и современные взгляды на природу мысленного образа движения: применение в спортивной практике

И.В. Каминский, А.Н. Веракса
МГУ имени М.В. Ломоносова Москва, Россия

Поступила 14 мая 2017/ Принята к публикации: 23 мая 2017

Conventional theories and modern views on the nature of the mental motor image used in sport

Igor V. Kaminsky*, Alexander N. Veraksa
Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia
* Corresponding author E-mail: min5drav@mail.ru

Received May 14, 2017 / Accepted for publication: May 23, 2017

Настоящая статья посвящена рассмотрению теоретических и практических аспектов природы мысленного образа движения, широко известного в спортивной практике как эффективное средство проработки двигательного навыка, способствующее его освоению и дальнейшему совершенствованию. Для обозначения практики применения мысленного образа в специализированной литературе приняты термины «мысленная проработка» или «мысленная тренировка». Появление исследований, посвященных данной тематике, существенно повлияло на наше понимание природы мысленного образа движения. Работа знакомит с основными подходами, теориями и современными взглядами на данную проблематику. В частности, рассмотрены разнонаправленные точки зрения на понимание механизмов, лежащих в основе мысленной проработки движения. Так, зачастую оказывались противопоставленными друг другу теории, которые считали мысленный образ элементом познания, не состоящим в прямом взаимодействии с исполнительным звеном моторной системы, и теории, рассматривающие мысленный образ как непосредственную основу движения, хранящую в себе информацию о всех его параметрах. Современные исследования, в том числе нейровизуализационные, свидетельствуют о неразделимости указанных подходов, а также об общности нейрофизиологического субстрата и функциональных свойств реального и воображаемого действия. На это указывает продемонстрированная в исследованиях центральная локализация пускового механизма, модулирующего вегетативные функции при физической нагрузке. На основании современных данных о природе мысленного образа движения предлагается уделять особое внимание практическим аспектам его использования в спортивной подготовке, несколько отличным от традиционных подходов и рекомендаций.

Ключевые слова: мысленный образ движения, мысленная тренировка, особенности образной сферы, активное познание, вегетативные реакции, спортивная подготовка.

The paper is devoted to the theoretical and practical aspects of motor imagery widely used by athletes in a variety of sports as an effective psychological training method. The research introduces basic approaches, theories and modern views on the issue. There are a wide variety of views on the mechanisms underlying mental practice of motor tasks. In particular, mental image can be considered from exclusively cognitive perspective or as a direct and essential background for producing movement.

To signify the notion of mental image in specialist studies the terms «mental study» or «mental training» are used. The research devoted to this issue has significantly influenced the conceptual understanding of the motor image nature.

There are opposing theories, who employ the mental image that is regarded as a basic cognitive component and does not consist in direct interaction with the executive link of the motor system. On the other hand, there are theories that view the mental image as the immediate basis of the movement that stores information about all its parameters.

Modern studies, including neuroimaging methods, confirm inseparability of these approaches and central locale of trigger mechanism that modulates physiological reactions and also its generality for real and imaginary action.

In conclusion, taking into account recent data on the nature of motor imagery, special attention is paid to practical aspects of using it in sports, which is different from conventional approaches and recommendations on motor imagery use.

Key words: Motor imagery, mental training, mental practice, imaginative sphere, mental image, active cognition, vegetative eactions, sports training

Мысленный образ движения широко известен в спортивной подготовке как одно из средств, способствующих освоению и совершенствованию двигательного навыка. Для обозначения практики применения мысленного образа в этих целях в специализированной литературе приняты термины «мысленная проработка» или «мысленная тренировка». Появление исследований, посвященных данной тематике, существенно повлияло на наше понимание природы мысленного образа движения. В качестве традиционного объяснения механизмов, лежащих в основе метода мысленной проработки, наиболее известны две зачастую противопоставляемые друг другу теории.

При этом сходство двигательных компонентов дает такое же сходство возникающей на их фоне афферентации, которая запускает центральные механизмы корректировки моторной программы, что выражается в повышении скоординированности предпринимаемых движений и возрастании результативности соответствующего действия в целом. Согласно психонейромышечной теории, чем ярче и реалистичнее мысленное представление действия, тем более выраженными являются микросокращения соответствующих ему мышц, возникающие на этом фоне, и тем активнее происходит совершенствование прорабатываемого двигательного навыка.

действий, в котором фиксируется их порядок и обобщенные характеристики, репрезентируемые индивидуальному сознанию. Реализация же движения требует конвертации образа в моторные команды, передаваемые посредством абстрактных нейронных кодов, не доступных сознанию. Вследствие этого, образ выступает в роли связующего звена, осуществляющего двустороннее взаимодействие между процессами произвольного планирования потенциальных поведенческих стратегий и их непосредственного воплощения за счет имеющихся двигательных ресурсов.

Согласно психонейромышечной теории, чем ярче и реалистичнее мысленное представление действия, тем более выраженными являются микросокращения соответствующих ему мышц, возникающие на этом фоне, и тем активнее происходит совершенствование прорабатываемого двигательного навыка

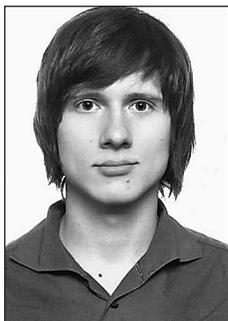
Развитие взглядов на природу мысленного образа движения

Несмотря на очевидное противоречие фундаментального понимания функциональной роли мысленного образа движения в двух традиционных теориях, в реальных условиях описанные механизмы могут взаимодополнять друг друга, охватывая разные грани одного и того же объективного явления (Savoian, 1988). Так, на первых этапах двигательного обучения основную роль будет играть познавательная функция мысленного образа, но по мере роста мастерства обратная связь, обуславливающая эффективность мысленной проработки на том этапе, когда дальнейшее развитие моторного навыка по большей части обеспечивается процессами, протекающими при его фактическом выполнении.

Однако, если познавательная роль мысленного образа в двигательном обучении признается рядом известных теорий развития моторного навыка (например, Бернштейн, 1990), а также подтверждается наличием когнитивно-обусловленных механизмов его переноса (Olsson, 2008), то валидность психонейромышечной гипотезы взаимодействия образной и двигательной сферы находится под вопросом. Так, если мысленная проработка обеспечивает совершенствование двигательного навыка за счет поступающей в ЦНС обратной связи от активных мышц, то характер их активации на фоне представленного движения должен быть пол-

Первая из них, получившая название психонейромышечной теории (Richardson, 1967), предполагает, что мысленное представление двигательного действия, как и его реальное выполнение, выражается в активности обеспечивающих его мышечных волокон, и различия между первым и вторым заключаются лишь в масштабах такой ак-

Вторая теория, названная теорией символического обучения (Sackett, 1934), признает мысленное представление средством активного познания, постижения действия, относительно обособленного от механизмов его непосредственного исполнения моторным звеном. Т.е. мысленный образ служит для произвольного построения плана



Игорь Владиславович Каминский –
соискатель кафедры психологии образования
и педагогики факультета психологии
МГУ имени М.В. Ломоносова
E-mail: min5drav@mail.ru



Александр Николаевич Веракса –
доктор психологических наук, профессор, член-
корреспондент РАО, и.о. заведующего кафедрой
психологии образования и педагогики факультета
психологии МГУ имени М.В. Ломоносова
E-mail: veraksa@yandex.ru

Для цитирования: Каминский И.В., Веракса А.Н. Традиционные теории и современные взгляды на природу мысленного образа движения: применение в спортивной практике // Национальный психологический журнал. – 2017. – №2(26). – С. 16–25. doi: 10.11621/npj.2017.0203

For citation: Kaminsky I.V., Veraksa A.N. (2017) Conventional theories and modern views on the nature of the mental motor image used in sport. National Psychological Journal, [Natsional'nyy psikhologicheskii zhurnal], 2, 16–25. doi: 10.11621/npj.2017.0203

ISSN 2079-6617 Print | 2309-9828 Online
© Lomonosov Moscow State University, 2017
© Russian Psychological Society, 2017

ностью идентичен таковому на фоне движения реального. Например, при фактическом поднятии веса сгибанием локтевого сустава на электромиографии (ЭМГ) выявляется характерная перемежающаяся трехфазная активность мышц-антагонистов с первичным пиком в двухглавой мышце плеча, затем – в трехглавой и после – вновь в двухглавой (Slade et al., 2002). В соответствии с психонейромышечной теорией во время воображаемого поднятия веса тем же движением следует ожидать ЭМГ-активность мышц руки аналогичной фазовой структуры. Однако исследования с проведением параллельного измерения биоэлектрических потенциалов антагонистических мышечных групп плеча на фоне воображаемого поднятия груза не подтверждают данную гипотезу. В частности, Б.Д. Хейл (Hale, 1982) наблюдал в этом случае одновременную активацию двухглавой и трехглавой мышц. Дж.М. Слейд с коллегами (Slade et al., 2002) на основе 240 проб, снятых у 40 испытуемых на фоне мысленного поднятия веса, смог выделить три различных ЭМГ-паттерна активности двухглавой мышцы и четыре паттерна активности трехглавой. Среди них превалировало (82,9% и 47,9% случаев, соответственно) возрастание активности над базовым уровнем без различимых пиков и фазового разделения. При наложении данных только в одной пробе из 240 удалось зафиксировать на фоне мысленного сгибания руки искомую трехфазную ЭМГ-модель, вероятность выявления которой, как сочли авторы, сводится к случайной. При этом количественный анализ данных показал, что двухглавая мышца плеча активнее трехглавой у 28 испытуемых из 40 ($\bar{M} = 1,69$; $SD = 1,04$) во время реального выполнения действия, тогда как при мысленном движении – лишь у 5 испытуемых из 40 ($\bar{M} = 0,67$; $SD = 2,01$). Более того, согласно психонейромышечной теории эффективность мысленной проработки движения тем выше, чем более выражена на ее фоне микросократительная активность соответствующих мышц. Однако на практике никакой определенной зависимости между показателями ЭМГ и эффектом мысленной проработки выявлено не было и, более того, установлена эффективность мысленной проработки,

на фоне которой отсутствуют значимые изменения на ЭМГ (Yue, Cole, 1992). К тому же, как показывает ряд исследований (например, Robin et al., 2007), способность к созданию ярких реалистичных образов увеличивает эффективность мысленной проработки, но, согласно имеющимся данным, такая способность либо не состоит ни в какой зависимости с ЭМГ-активностью (Hale, 1982), либо, напротив, изменяется обратно пропорционально ей (Jowdy, Harris, 1990).

Представленные исследования позволяют заключить, что мысленный образ движения стимулирует фактическую активность соответствующих мышц, однако она не должна рассматриваться как основополагающий механизм совершенствования двигательных умений посредством мысленной проработки.

Мысленный образ движения стимулирует фактическую активность соответствующих мышц, однако она не должна рассматриваться как основополагающий механизм совершенствования двигательных умений посредством мысленной проработки

Альтернативное объяснение последнего можно найти в ряде работ (Jeannerod, 1994), возрождающих прослеживаемую еще в трудах Декарта и Аристотеля идею, состоящую в понимании мысленного образа как разворачивающегося на определенном уровне обработки информации нервной системой аналога соответствующего образа восприятия. Из указанной феноменологической аналогии следует аналогия функциональная. Если на уровне высшей нервной деятельности за переживанием мысленного образа какого-либо события или действия стоят те же нейрофизиологические процессы, что обеспечивают его фактическое восприятие, то эти процессы, вне зависимости от того, являются ли они следствием реального воздействия стимула на рецепторы или лишь намерения представить результаты такого воздействия мысленно, должны сохранять характерные им свойства. Эти свойства проявляются в актуализации сопряженных с ними функциональных ответов, в том числе механизмов, ответственных за научение.

Наличие таких ответов, общих для реального и воображаемого действия, может рассматриваться в качестве под-

тверждения настоящей теории. Среди них особое место отводится вегетативным реакциям, поскольку они объективны, просты и доступны для обнаружения и не могут быть вызваны произвольно. Так, при воображаемом поднятии веса наблюдается резкое возрастание частоты сердечных сокращений (ЧСС), частоты дыхательных движений (ЧДД) и парциального давления CO_2 в выдыхаемом воздухе, подобно тому, как это происходит на фоне реальной физической активности (Collet, Guillot, 2010). Отмечено, в случае последней такая функциональная перестройка протекает чрезвычайно быстро: ЧСС изменяется по прошествии не более чем пяти ударов, а ЧДД – в пределах одного цикла после инициации физической работы (Adams et al., 1987). Поэтому считается, что мобилиза-

ция вегетативных функций программируется заранее, т.е. имеет в своей основе центральный триггерный механизм и не может быть откликом на возрастающие энергетические требования на периферии. Исследования показывают, что это же справедливо и для мысленного воспроизведения соответствующей активности. Те факты, что вегетативные реакции, зафиксированные во время мысленной нагрузки, не сопровождаются метаболическими изменениями в мышцах (Decety et al., 1993), и что соразмерный варьирующей величине ожидаемого усилия физиологический ответ обнаруживается на фоне полного паралича (Gandevia et al., 1993), подтверждают центральную локализацию пускового механизма, модулирующего вегетативные функции, и его общность для реального и воображаемого действия.

Теория функциональной эквивалентности

М. Джиннерод (Jeannerod, 1994) считает, что в случае с движением основу такой общности создают моторные репрезентации, представляющие собой

определенные паттерны активности головного мозга. Они возникают на стадии подготовки двигательного действия и, с одной стороны, кодируют необходимую для его исполнения информацию, включая временные рамки действия, налагаемые им силовые затраты, его двигательный состав, пространственную конфигурацию и требуемый итоговый результат, а, с другой стороны, опосредуют соответствие между потребностью, инициирующей деятельность, и намеченным конечным продуктом последней. М. Джиннерод отмечает, что мысленный образ несет тот же спектр информации о движении, что и моторная репрезентация, но, в отличие от нее, не влечет за собой реального выполнения полноценного двигательного действия. Так, кинематические параметры движения и его результат являются непосредственно представленным субъекту содержанием мысленного образа. О формировании образа с учетом скоростно-силовых характеристик движения косвенно свидетельствуют рассмотренные выше исследования модуляции активности вегетативной нервной системы на фоне воображаемой нагрузки (Collet, Guillot, 2010). В ряде экспериментов была показана также хронометрическая эквивалентность¹ мысленного и фактического двигательных действий. Более того, исследования показали, что мысленный образ сохраняет эффект, вызываемый взаимодействием вышеуказанных параметров. В частности, закон Фиттса, согласно которому продолжительность двигательного действия увеличивается с возрастанием его субъективной сложности, выполняется как для реальных, так и для мысленно воспроизводимых движений. Выполняется вне зависимости от того, обусловлена ли такая сложность повышенными требованиями задания к координации (Cerritelli et al., 2000) или к прилагаемому усилию (Papakonstantinou et al., 2002).

Теория функциональной эквивалентности подтверждается многочисленными нейровизуализационными исследованиями (Sharma, Baron, 2013), показавшими вовлечение в процесс мы-

сленного представления двигательного действия тех же мозговых структур, которые активны при его реальном выполнении. Кроме того, клинические данные свидетельствуют о том, что перцептивные (Farah et al., 1992) и двигательные (Tomasi et al., 2005) расстройства центрального генеза аналогичным образом проявляются в отношении как реальной, так и воображаемой деятельности.

В то же время отмечается, что при неспособности к осуществлению определенных двигательных действий на фоне интактности мозговых структур, вовлеченных в их программирование, в частности, при ампутации или деафферентации (Jeannerod et al., 1984) конечностей, при повреждениях спинного мозга (Decety, Boisson, 1990), субъекты формируют ясный образ намеченного действия, если перед ними стоит задача его выполнения. На основании этого М. Джиннерод (Jeannerod, 1994) предполагает, что мысленный образ движения есть продукт сознательного доступа к соответствующей моторной репрезентации, осознание которой определяется временем, отведенным на подготовку предпринимаемого движения. В норме двигательное действие инициируется за доли секунды и подтверждающая его выполнение обратная связь деактивирует лежащую в его основе моторную репрезентацию еще до того, как она может быть осознана. Но активность последней продлевается, если подготовка движения предпринимается заблаговременно, а также если его выполнение или деактивирующая афферентация по какой-либо причине заблокированы. В этом случае подсознательная моторная репрезентация трансформируется в осознаваемый мысленный образ соответствующего двигательного действия. Намеренно вызывая мысленное представление своих движений, мы автоматически блокируем их выполнение, что открывает сознательный доступ к соответствующим моторным репрезентациям. При этом, поскольку фактически движение не предпринимается, сигнализирующая о его полноценном выполнении обратная связь от периферических рецепторов (проприоцепция)

отсутствует, но центральные процессы по своей сути остаются аналогичными тем, что запускают реальную двигательную активность (Jeannerod, 1994).

Мысленный образ движения является репрезентацией в сознании моторной программы, исполнение которой блокируется на определенном уровне ЦНС (Jeannerod, 1994). Возникающая же на его фоне микросократительная активность мышц, регистрируемая с помощью ЭМГ (Hale, 1982; Jowdy, Harris, 1990; Slade et al., 2002), может рассматриваться как следствие неполного торможения влияния такой программы на исполнительные органы (Jeannerod, 1994). Примечательно, что гипотеза М. Джиннерода (Jeannerod, 1994) о деактивирующем воздействии на двигательный образ (как частный случай моторной репрезентации) поступающей от исполнительных органов специфичной ему обратной связи хорошо согласуется с данными Д.П. Джоуди и Д.В. Харрис (Jowdy, Harris, 1990). Они свидетельствуют об обратной пропорциональной зависимости между способностью к созданию реалистичного образа движения и выраженностью зафиксированной на его фоне ЭМГ-активности. С другой стороны, эксперименты на обезьянах (Mellah et al., 1990) показали активацию части двигательных единиц двухглавой мышцы плеча обученного животного в обозначенный специальным сигналом 3-секундный подготовительный период, предшествующий команде о проведении сгибательного движения руки, и их расслабление в момент начала движения. Данный феномен может являться следствием активности моторной репрезентации и нести функцию изменения физиологического состояния мышцы с приданием ей дополнительной жесткости, что сокращает время последующей реакции и обеспечивает готовность к действию. Возможно, микросокращения мышц на фоне мысленного образа движения также обусловлены активностью данного подготовительного процесса. Однако ввиду глубокого залегания соответствующих мышечных волокон (Mellah et al., 1990) он зачастую не может быть зафик-

¹ Стоит добавить, что эквивалентность продолжительности мысленного и реального действия, очевидно, позволяет использовать мысленный образ в режиме реального времени, благодаря чему сохраняется способность к пространственной ориентации в знакомом помещении в темноте или с завязанными глазами.

сирован поверхностными методами регистрации ЭМГ (Jeannerod, 1994).

Роль моторных процессов в когнитивной сфере

В противоположность пониманию образа как средства познания, представленного в виде амодального символического кода высшего порядка (Sackett, 1934), современные исследования говорят о том, что сенсомоторные и когнитивные процессы неотделимы друг от друга. Так, известно, что, подобно мысленной проработке, визуальная демонстрация двигательной модели вызывает активность зон мозга, участвующих в фактическом выполнении соответствующего движения (Gatti et al., 2016). При этом также проявляется обучающий эффект – по сравнению с показателями контрольной группы, разучиваемые моторные навыки достоверно более результативно исполняются субъектами, обучающимися исключительно посредством наблюдения (Gatti et al., 2013). Более того, как показывают исследования перцептивно-моторных интерференций, демонстрируемые стимулы облегчают выполнение действия, двигательный компонент которого состоит с ними в прямом соответствии, и затрудняют выполнение противопоставленной ему альтернативы. Это указывает на актуализацию моторных программ в процессе когнитивной переработки различных по модальности и содержанию стимулов (Witt et al., 2010). Активация моторных зон головного мозга зафиксирована также на фоне восприятия статических изображений инструментов, предназначенных для осуществления различных трудовых манипуляций с их помощью (Creem-Regehr, Lee, 2005). Это свидетельствует о том, что узнавание объекта требует актуализации программ потенциального взаимодействия с ним (Sim et al., 2015). Точно так же моторные зоны мозга активируются при восприятии речи – главным образом, глаголов действия или семантически близких к ним существительных, в том числе названий инструментов и др. Причем, такая активация отвечает соматотопическому принципу и определяется семантикой речевого

стимула (Elk van et al., 2010). На основании этого предполагается роль имитационных процессов в обработке воспринимаемой информации, мыслительной деятельности и социальных взаимодействиях, когда значение какого-либо действия или состояния раскрывается перед субъектом в процессе его внутреннего моделирования в релевантном контексте.

С этих позиций мысленный образ движения, так или иначе, является тесно переплетенным с моторными компонентами деятельности ЦНС. Резюмируя возможности непосредственного взаимодействия моторной и образной сферы, Е.Н. Сурков (Сурков, 1982) выделяет три функции двигательного образа. Выполняя программирующую функцию, образ определяет команды, согласно которым действуют исполнительные органы. В рамках регулирующей функции образ предстает как эталон, идеальная модель движения, с которой сопоставляется реальный результат, за счет чего производится оценка последнего и коррекция двигательного действия в случае необходимости. Тренирующая функция образа заключена в возможности его использования в качестве средства двигательного обучения, что отражает суть метода мысленной проработки двигательных навыков.

В настоящее время считается, что тренирующая функция обусловлена вовлечением в процесс создания образа моторных зон мозга, дублирующих таковое на фоне фактической двигательной активности, что ведет к активации механизмов научения, общих для мысленного и реального действия (Holmes, Collins, 2001). В числе последних экспериментально подтверждена роль модуляции функциональных связей между взаимно отдаленными участками головного мозга (Хе, 2015), а также пластических изменений первичной моторной коры, предположительно имеющих отношение к консолидации моторной памяти на ранних этапах обучения (Foerster, 2013).

Природа особенностей мысленного образа движения

Последний эффект мысленной проработки состоит в зависимости от сте-

пени активации на ее фоне первичной моторной коры, которая демонстрирует изменчивость индивидуальных значений (Blefari et al., 2015). Подобная вариабельность характеризует также и образ движения как психический феномен, проявляясь в отношении следующих его особенностей: содержания, реалистичности, модальности, скорости и ракурса. С.П. Елшанский отмечает, что при запоминании позы руки примерно треть испытуемых создает визуальный образ ее требуемого положения, тогда как большинство участников эксперимента ориентируется на мышечно-суставное чувство (Елшанский, 2014). Многие авторы (Olsson, 2008) считают, что такие различия позволяют выделить две обособленные друг от друга категории: визуальный образ движения и истинно моторное представление. Другие исследователи (Jeannerod, 1994) справедливо замечают, что образ чаще всего полимодален и любое представленное в кинестетической модальности движение, так или иначе, разворачивается в определенной части зрительно идентифицируемого пространства.

Объясняя индивидуальные различия в представлении движения, некоторые авторы (Spittle, Morris, 2011) говорят о личностной обусловленности тех или иных его особенностей. С.П. Елшанский при интерпретации своих результатов ссылается на феномен первичного доминирования той или иной модальности в образной сфере, определяющий индивидуальные модальностные предпочтения, имеющие место при восприятии, запечатлении и мысленном воспроизведении перцептивного опыта (Елшанский, 2014). Другие авторы отводят важную роль текущему функциональному состоянию, установкам, которые могут быть заданы, в том числе инструкцией экспериментатора, а также индивидуальной способности к созданию образа с теми или иными характеристиками (Gregg et al., 2010). Такая способность, согласно распространенному мнению, развивается по мере того, как соответствующие образы используются для решения представленных в них задач (Spittle, Morris, 2011). Она определяется частотой встречаемости таких задач в деятельности субъекта и его опытом в ведении этой деятельности. Други-

ми словами, особенности образной сферы могут быть проявлением своего рода профессиональной деформации – адаптации психики к требованиям, которые налагает совокупность регулярно принимаемых действий. Так, В.В. Барабанщикова показала, что у мастеров спорта по боксу, спецификой которого является дистантный бой, преобладает визуальная модальность образной сферы, тогда как у мастеров спорта по дзюдо, которые ведут контактный бой, – кинестетическая (Барабанщикова, 2005). Следовательно, опыт в выполнении действия сам подсказывает те его аспекты,

При этом, если зрительный контроль механики движения требует направленного внимания непосредственно на само двигательное действие, то сменяющий его проприоцептивный контроль может осуществляться в отсутствие такого внимания², что и обуславливает автоматизацию движения. Более того, Н.А. Бернштейн описывает конфликт между зрительным контролем за выполняемым движением и сознательным вниманием в его структуру – с одной стороны, и плавным автоматическим выполнением навыка – с другой (Бернштейн, 1990). Поэтому одним из условий последнего

как представление колясочного слалома сопровождается выраженной активацией моторной системы. В контрольной группе здоровых добровольцев зафиксирован противоположный результат с задействованием моторных зон мозга в процессе представления ходьбы по лестнице и без такового на фоне представления колясочного слалома. В ряде исследований были показаны аналогичные различия активности мозга субъектов, начинающих освоение моторного навыка и достигших экспертного уровня в его выполнении, на фоне мысленного представления (Olsson, 2008), наблюдения (Aglioti et al., 2008) и прослушивания словесного описания (Beilock et al., 2008) соответствующих двигательных действий. При этом показано, что вовлечение собственных моторных программ в распознавание наблюдаемого действия и прогнозирование его результата обеспечивает более однозначную и быструю ориентировку профессиональных спортсменов в игровой ситуации, по сравнению с их менее опытными коллегами (Aglioti et al., 2008).

Опыт в выполнении действия сам подсказывает те его аспекты, которым необходимо уделить наиболее пристальное внимание, и именно они формируют ключевое содержание мысленного образа данного действия, а также его компоненты, значимые с точки зрения контроля и оценки

которым необходимо уделить наиболее пристальное внимание, и именно они формируют ключевое содержание мысленного образа данного действия, а также его компоненты, значимые с точки зрения контроля и оценки.

Если допускать, что эквивалентность реального и мысленного двигательных действий сохраняется на всех этапах овладения моторным навыком, то можно предположить, что ведущая модальность его представления меняется в процессе научения. Так, Н.А. Бернштейн отмечает, что основную нагрузку по управлению новым, еще не освоенным движением несет зрение, но по мере накопления информации о способах коррекции этого движения на основе проприоцептивных сигналов ведущая роль по контролю его механики передается в соответствующую модальность (Бернштейн, 1990). Следовательно, можно полагать, что и модальность образа-эталона меняется по мере овладения соответствующим навыком. Ведь субъект, заинтересованный в его освоении, начиная упражняться, уже склонен анализировать поступающие от мышц ощущения, тем самым подменяя визуальный двигательный эталон кинестетическим.

является переключение внимания с собственно движения на двигательную задачу³ (Бернштейн, 1990). Следовательно, на ведущее место в управлении автоматизированными движениями должны выходить эталоны, отражающие намеченный результат двигательного действия, выражая потребность в контроле навыка на основе степени достижения поставленной двигательной задачи.

К.Дж. Олссон (Olsson, 2008) подчеркивает, что активация моторной программы двигательного действия во время его представления требует, прежде всего, наличия такой программы в двигательном репертуаре субъекта, которая определяется опытом выполнения данного действия. Пока двигательное умение не освоено, не установлена и соответствующая ему моторная репрезентация, т.е. представление о нем носит по большей части смысловой характер. К.Дж. Олссон и Л. Нибберг (Olsson, Nyberg, 2011) иллюстрируют данное положение описанием случая С.Д. – высококвалифицированной спортсменки, ноги которой парализованы от рождения. Так, при представлении ходьбы по лестнице в мозге С.Д. наблюдается активность, главным образом, фронтальных областей коры, тогда

Заключение

Таким образом, из всего вышесказанного можно выделить несколько ключевых идей, определяющих современное понимание природы мысленного образа движения. Так, мысленный образ движения имеет в своей основе процессы, аналогичные тем, что обеспечивают фактическое выполнение движения, и, следовательно, обладает теми же свойствами, в частности, активирует центральные механизмы, ответственные за двигательное научение. Как показали исследования, регистрируемая на фоне мысленно представляемых движений периферическая активность является скорее следствием описанной аналогии образа и действия на центральном уровне, чем основой двигательного научения в процессе мысленной проработки. Это смещает акценты в установках, которые

² Для более ясного описания различий визуального и проприоцептивного управления движением можно назвать первый контролем «снаружи» – с помощью зрительного анализатора, а второй – контролем «изнутри» – с помощью рецепторов в самих мышцах, сухожилиях и суставных сумках, т.е. непосредственно в звене, выполняющем движение.

³ Именно такая направленность внимания проиллюстрирована выше в примерах из работы В.В. Барабанщиковой, описывающих деятельность высококвалифицированных спортсменов (Барабанщикова, 2005).

было принято давать спортсменам, пробабывающим действия путем их мысленного повторения. С современных позиций надо рекомендовать им максимальное приближение образа и условий его формирования к реальной деятельности, умозрительно воссоздавая ее темп, связанные с ней эмоции, ощущения и обстановку. Такой подход позволит формировать более яркие образы, и приближение мысленной картины к соответствующему реальному опыту, увеличит степень эквивалентности нейрофизиологических процессов, в том числе ответственных за научение, таким, активизирующимся на фоне реальной деятельности (Holmes, Collins, 2001).

В то же время обязательным условием для задействия моторной системы в мысленном представлении движения является наличие опыта его фактического выполнения. Поэтому спортсмены, только приступившие к освоению сложного моторного навыка, будут иметь лишь смысловое представление о нем как о когнитивном феномене – объекте познания, не задействующее реально вовлеченные в выполнение такого навыка нейрофизиологические процессы. Тем не менее, такое представление так же окажется полезным, поскольку позволит быстрее усвоить необходимую последовательность действий, соотнести их с ключевыми ориентирами контекста

Мысленный образ движения имеет в своей основе процессы, аналогичные тем, что обеспечивают фактическое выполнение движения, и, следовательно, обладает теми же свойствами, в частности, активизирует центральные механизмы, ответственные за двигательное научение

выполнения, лучше осмыслить текущую задачу в освоении навыка и ее составляющие.

С другой стороны, в современном понимании оказываются вытесненными взгляды на мысленный образ уже знакомого движения как на исключитель-

но изменяются и совершенствуются, соответствующую им образную сферу так же следует рассматривать как динамическую систему, акцентирующую актуальные на текущий момент задачи. Поэтому как перспективный предмет исследований, который углубит наше понимание

Учитывая, что двигательные умения субъекта постоянно изменяются и совершенствуются, соответствующую им образную сферу так же следует рассматривать как динамическую систему, акцентирующую актуальные на текущий момент задачи

но когнитивный феномен, не задействующий исполнительные механизмы. Более того, в процессах, традиционно считавшихся сугубо «когнитивными» (например, узнавание предметов и действий, восприятие речи), сегодня усматривается значительная роль моторной системы. Такая позиция не только еще крепче утверждает роль трудовой деятельности в умственном развитии и взаимосвязь мышления и предметных действий, но и указывает на необходимость учета таких взаимосвязей при продумывании дизайна исследований и интерпретации результатов. Учитывая, что двигательные умения субъекта постоян-

природы мысленного образа движения, необходимо рассматривать трансформацию представления двигательного навыка в зависимости от актуального уровня владения им.

Работа выполнена в рамках Государственного контракта №117 от 19.04.2017 г. с Министерством спорта Российской Федерации «Разработка научно-обоснованных предложений по совершенствованию психолого-педагогического сопровождения спортсменов высокой квалификации с использованием современных технологий»

Литература:

- Барабанщикова В.В. Модальность образной сферы как фактор оптимизации функционального состояния профессионалов в процессе психологической саморегуляции : дис. ... канд. психол. наук. – Москва, 2005. – 160 с.
- Бернштейн Н.А. Физиология движений и активность / под ред. О.Г. Газенко. – Москва : Наука, 1990. – 495 с.
- Елшанский С.П. Проприоцептивная память позы руки [Электронный ресурс] // Психология, социология и педагогика, 2014. – № 3 : [сайт]. URL: <http://psychology.snauka.ru/2014/03/2905> – (дата обращения: 20.04.2016).
- Сурков Е.Н. Антиципация в спорте. – Москва : Физкультура и спорт, 1982. – 145 с.
- Adams, L., Guz, A., Innes, J.A., & Murphy K. (1987) The early circulatory and ventilatory response to voluntary and electrically induced exercise in man [Journal of Physiology], 383, 19–30. doi: 10.1113/jphysiol.1987.sp016393
- Aglioti, S.M., Cesari, P., Romani, M., & Urgesi, C. (2008) Action anticipation and motor resonance in elite basketball players [Nature Neuroscience], V. 11, 9, 1109–1116. doi: 10.1038/nn.2182
- Beilock, S.L., Lyons, I.M., Mattarella-Micke, A., Nusbaum, H.C., & Small, S.L. (2008) Sports experience changes the neural processing of action language [Proceedings of the National Academy of Sciences], V. 105, 36, 13269–13273. doi: 10.1073/pnas.0803424105
- Blefari, M.L., Sulzer, J., Hepp-Reymond, M.C., Kollias, S., & Gassert, R. (2015) Improvement in precision grip force control with self-modulation of primary motor cortex during motor imagery. [Frontiers in behavioral neuroscience]. 9. doi: 10.3389/fnbeh.2015.00018
- Cerritelli, B., Maruff, P., Wilson, P., & Currie, J. (2000) The effect of an external load on the force and timing components of mentally represented actions. [Behavioural brain research], V. 108, 1, 91–96. doi: 10.1016/S0166-4328(99)00138-2
- Collet, C., & Guillot, A. (2010) Autonomic nervous system activities during imagined movements. In Guillot A., Collet C. (Eds) The neurophysiological foundations of mental and motor imagery, New York, Oxford University Press, 95–108. doi: 10.1093/acprof:oso/9780199546251.003.0007
- Creem-Regehr, S.H., & Lee, J.N. (2005) Neural representations of graspable objects: are tools special? [Cognitive Brain Research], V. 22, 3, 457–469. doi: 10.1016/j.cogbrainres.2004.10.006

- Decety, J., & Boisson, D. (1990) Effect of brain and spinal cord injuries on motor imagery. [European Archives of Psychiatry and Clinical Neurosciences], 240, 39–43. doi: 10.1007/BF02190091
- Decety, J., Jeannerod, M., Durozard, D., & Bavelle, G. (1993) Central activation of autonomic effectors during mental simulation of motor actions in man. [The Journal of Physiology], V. 461, 1, 549–563. doi: 10.1113/jphysiol.1993.sp019528
- Farah, M.J., Soso, M.J., & Dasheiff, R.M. (1992) Visual angle of the mind's eye before and after unilateral occipital lobectomy. [Journal of Experimental Psychology, Human Perception and Performance]. 18, 241–246. doi: 10.1037/0096-1523.18.1.241
- Foerster, Á., Rocha, S., Wiesiolek, C., Chagas, A.P., Machado, G., Silva, E., Fregni, F., & Monte-Silva, K. (2013) Site-specific effects of mental practice combined with transcranial direct current stimulation on motor learning. [European Journal of Neuroscience], V. 37, 5, 786–794. doi: 10.1111/ejn.12079
- Gandevia, S.C., Macefield, V.G., Bigland-Ritchie, B., Gorman, R.B., & Burke, D. (1993) Motoneuronal output and gradation of effort in attempts to contract acutely paralysed leg muscles in man. [The Journal of Physiology], V. 471, 411–427. doi: 10.1113/jphysiol.1993.sp019907
- Gatti, R., Rocca, M.A., Fumagalli, S., Cattysse, E., Kerckhofs, E., Falini, A., & Filippi, M. (2016) The effect of action observation/execution on mirror neuron system recruitment: an fMRI study in healthy individuals. [Brain Imaging and Behavior], 1–12.
- Gatti, R., Tettamanti, A., Gough, P.M., Riboldi, E., Marinoni, L., & Buccino, G. (2013) Action observation versus motor imagery in learning a complex motor task: A short review of literature and a kinematics study. [Neuroscience Letters], 540, 37–42. doi: 10.1016/j.neulet.2012.11.039
- Gregg, M., Hall, C., & Butler, A. (2010) The MIQ-RS: a suitable option for examining movement imagery ability. [Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine], V. 7, 2, 249–257.
- Hale, B.D. (1982) The effects of internal and external imagery on muscular and ocular concomitants. [Journal of Sport Psychology], V. 4, 4, 379–387. doi: 10.1123/jsp.4.4.379
- Holmes, P.S., & Collins, D.J. (2001) The PETTLEP Approach to Motor Imagery: A Functional Equivalence Model for Sport Psychologists [Journal of Applied Sport Psychology], V. 13, 1, 60–83. doi: 10.1080/10413200109339004
- Jeannerod, M. (1994) The representing brain – neural correlates of motor intention and imagery. [Behavioral and Brain Sciences], 17, 187–202. doi: 10.1017/S0140525X00034026
- Jeannerod, M., Michel, F., & Prablanc, C. (1984) The control of hand movements in a case of hemianaesthesia following a parietal lesion. [Brain], V. 107, 3, 899–920.
- Jowdy, D.P., & Harris, D.V. (1990) Muscular responses during mental imagery as a function of motor skill level. [Journal of Sport and Exercise Psychology], V. 12, 2, 191–201. doi: 10.1123/jsep.12.2.191
- Mellah, S., Rispal-Padel, L., & Riviere, G. (1990) Changes in excitability of motor units during preparation for movement [Experimental brain research], V. 82, 1, 178–186. doi: 10.1007/BF00230849
- Olsson, C.-J. (2008) Imagining imagining actions: A thesis ... for the degree of Doctor of Philosophy [Umea University], Umea, 63.
- Olsson, C.J., & Nyberg, L. (2011) Brain simulation of action may be grounded in physical experience. [Neurocase], V. 17, 6, 501–505.
- Papaxanthis, C., Schieppati, M., Gentili, R., & Pozzo, T. (2002) Imagined and actual arm movements have similar durations when performed under different conditions of direction and mass [Experimental Brain Research], V. 143, 4, 447–452. doi: 10.1007/s00221-002-1012-1
- Richardson, A. (1967) Mental practice: a review and discussion part II. [Research Quarterly. American Association for Health, Physical Education and Recreation], V. 38, 2, 263–273.
- Sackett, R.S. (1934) The influence of symbolic rehearsal upon the retention of a maze habit. [Journal of General Psychology], 10, 376–395. doi: 10.1080/00221309.1934.9917742
- Savoyant, A. (1988) Mental practice: Image and mental rehearsal of motor action. In M. Denis, J. Englekamp, & J. Richardson (Eds.) Cognitive and neurophysiological approaches to mental imagery. The Hague, Martinus Nyhoff, 251–257. doi: 10.1007/978-94-009-1391-2_23
- Sharma, N., & Baron, J.C. (2013) Does motor imagery share neural networks with executed movement: a multivariate fMRI analysis. [Frontiers in Human Neuroscience], V. 7, 564. doi: 10.3389/fnhum.2013.00564
- Sim, E.J., Helbig, H.B., Graf, M., & Kiefer, M. (2015) When action observation facilitates visual perception: activation in visuo-motor areas contributes to object recognition [Cerebral cortex], V. 25, 9, 2907–2918. doi: 10.1093/cercor/bhu087
- Slade, J.M., Landers, D.M., & Martin, P.E. (2002) Muscular activity during real and imagined movements: a test of inflow explanations. [Journal of Sport and Exercise Psychology], V. 24, 2, 151–167. doi: 10.1123/jsep.24.2.151
- Spittle, M., & Morris, T. (2011) Can internal and external imagery perspectives be trained? [Journal of mental imagery]. V. 35, 3–4, 81–104.
- Tomasino, B., Budai, R., Mondani, M., Skrap, M., & Rumiati, R.I. (2005) Mental rotation in a patient with an implanted electrode grid in the motor cortex. [Neuroreport], V. 16, 16, 1795–1800.
- van Elk, M., van Schie, H.T., Zwaan, R.A., & Bekkering, H. (2010) The functional role of motor activation in language processing: motor cortical oscillations support lexical-semantic retrieval. [Neuroimage], V. 50, 2, 665–677.
- Witt, J.K., Kemmerer, D., Linkenauger, S.A., & Culham, J. (2010) A functional role for motor simulation in identifying tools. [Psychological Science], V. 21, 9, 1215–1219. doi: 10.1177/0956797610378307
- Xie, F., Xu, L., Long, Z., Yao, L., & Wu, X. (2015) Functional connectivity alteration after real-time fMRI motor imagery training through self-regulation of activities of the right premotor cortex. [BMC neuroscience], V. 16, 29. doi: 10.1186/s12868-015-0167-1
- Yue, G., & Cole, K.J. (1992) Strength increases from the motor program: comparison of training with maximal voluntary and imagined muscle contractions [Journal of neurophysiology], V. 67, 5, 1114–1123.

References:

- Adams, L., Guz, A., Innes, J.A., & Murphy, K. (1987) The early circulatory and ventilatory response to voluntary and electrically induced exercise in man [Journal of Physiology], 383, 19–30. doi: 10.1113/jphysiol.1987.sp016393

- Aglioti, S.M., Cesari, P., Romani, M., & Urgesi, C. (2008) Action anticipation and motor resonance in elite basketball players [*Nature Neuroscience*], 11(9), 1109–1116. doi: 10.1038/nn.2182
- Barabanshchikova, V.V. (2005) Modality of the figurative sphere as a factor in optimizing the functional state of professionals in the process of psychological self-regulation: Ph.D. in Psychology [Moscow State University]. Moscow, 160.
- Bernshtein, N.A. (1990) Physiology of Motion and Activity. Moscow, Nauka, 495.
- Beilock, S.L., Lyons, I.M., Mattarella-Micke, A., Nusbaum, H.C., & Small, S.L. (2008) Sports experience changes the neural processing of action language [*Proceedings of the National Academy of Sciences*], 105(36), 13269–13273. doi: 10.1073/pnas.0803424105
- Blefari, M.L., Sulzer, J., Hepp-Reymond, M.C., Kollias, S., & Gassert, R. (2015) Improvement in precision grip force control with self-modulation of primary motor cortex during motor imagery. [*Frontiers in behavioral neuroscience*]. 9. doi: 10.3389/fnbeh.2015.00018
- Cerritelli, B., Maruff, P., Wilson, P., & Currie, J. (2000) The effect of an external load on the force and timing components of mentally represented actions. [*Behavioural brain research*], 108(1), 91–96. doi: 10.1016/S0166-4328(99)00138-2
- Collet, C., & Guillot, A. (2010) Autonomic nervous system activities during imagined movements. In Guillot A., Collet C. (Eds) The neurophysiological foundations of mental and motor imagery, New York, Oxford University Press, 95–108. doi: 10.1093/acprof:oso/9780199546251.003.0007
- Creem-Regehr, S.H., & Lee, J.N. (2005) Neural representations of graspable objects: are tools special? [*Cognitive Brain Research*], 22(3), 457–469. doi: 10.1016/j.cogbrainres.2004.10.006
- Decety, J., & Boisson, D. (1990) Effect of brain and spinal cord injuries on motor imagery. [*European Archives of Psychiatry and Clinical Neurosciences*], 240, 39–43. doi: 10.1007/BF02190091
- Decety, J., Jeannerod, M., Durozard, D., & Baverel, G. (1993) Central activation of autonomic effectors during mental simulation of motor actions in man. [*The Journal of Physiology*], 461(1), 549–563. doi: 10.1113/jphysiol.1993.sp019528
- Elshansky, S.P. (2014) Proprioceptive memory of the hand pose. [*Psikhologiya, sotsiologiya i pedagogika*]. 3. Retrieved from: <http://psychology.snauka.ru/2014/03/2905> (accessed: 04/20/2016).
- Farah, M.J., Soso, M.J., & Dasheiff, R.M. (1992) Visual angle of the mind's eye before and after unilateral occipital lobectomy. [*Journal of Experimental Psychology, Human Perception and Performance*]. 18, 241–246. doi: 10.1037/0096-1523.18.1.241
- Foerster, Á., Rocha, S., Wiesiolek, C., Chagas, A.P., Machado, G., Silva, E., Fregni, F., & Monte-Silva, K. (2013) Site-specific effects of mental practice combined with transcranial direct current stimulation on motor learning. [*European Journal of Neuroscience*], 37(5), 786–794. doi: 10.1111/ejn.12079
- Gandevia, S.C., Macefield, V.G., Bigland-Ritchie, B., Gorman, R.B., & Burke, D. (1993) Motoneuronal output and gradation of effort in attempts to contract acutely paralysed leg muscles in man. [*The Journal of physiology*], 471, 411–427. doi: 10.1113/jphysiol.1993.sp019907
- Gatti, R., Rocca, M.A., Fumagalli, S., Cattrysse, E., Kerckhofs, E., Falini, A., & Filippi, M. (2016) The effect of action observation/execution on mirror neuron system recruitment: an fMRI study in healthy individuals. [*Brain Imaging and Behavior*], 1–12.
- Gatti, R., Tettamanti, A., Gough, P.M., Riboldi, E., Marinoni, L., & Buccino, G. (2013) Action observation versus motor imagery in learning a complex motor task: A short review of literature and a kinematics study. [*Neuroscience Letters*], 540, 37–42. doi: 10.1016/j.neulet.2012.11.039
- Gregg, M., Hall, C., & Butler, A. (2010) The MIQ-RS: a suitable option for examining movement imagery ability. [*Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*], 7(2), 249–257.
- Hale, B.D. (1982) The effects of internal and external imagery on muscular and ocular concomitants. [*Journal of Sport Psychology*], 4(4), 379–387. doi: 10.1123/jsp.4.4.379
- Holmes, P.S., & Collins, D.J. (2001) The PETTLEP Approach to Motor Imagery: A Functional Equivalence Model for Sport Psychologists [*Journal of Applied Sport Psychology*], 13(1), 60–83. doi: 10.1080/10413200109339004
- Jeannerod, M. (1994) The representing brain – neural correlates of motor intention and imagery. [*Behavioral and Brain Sciences*], 17, 187–202. doi: 10.1017/S0140525X00034026
- Jeannerod, M., Michel, F., & Prablanc, C. (1984) The control of hand movements in a case of hemianaesthesia following a parietal lesion. [*Brain*], 107(3), 899–920.
- Jowdy, D.P., & Harris, D.V. (1990) Muscular responses during mental imagery as a function of motor skill level. [*Journal of Sport and Exercise Psychology*], 12(2), 191–201. doi: 10.1123/jsep.12.2.191
- Mellah, S., Rispal-Padel, L., & Riviere, G. (1990) Changes in excitability of motor units during preparation for movement [*Experimental brain research*], 82(1), 178–186. doi: 10.1007/BF00230849
- Olsson, C.-J. (2008) Imagining imagining actions: A thesis ... for the degree of Doctor of Philosophy [Umea University], Umea, 63.
- Olsson, C.J., & Nyberg, L. (2011) Brain simulation of action may be grounded in physical experience. [*Neurocase*], 17(6), 501–505.
- Papaxanthis, C., Schieppati, M., Gentili, R., & Pozzo, T. (2002) Imagined and actual arm movements have similar durations when performed under different conditions of direction and mass [*Experimental Brain Research*], 143(4), 447–452. doi: 10.1007/s00221-002-1012-1
- Richardson, A. (1967) Mental practice: a review and discussion part II. [*Research Quarterly. American Association for Health, Physical Education and Recreation*], 38(2), 263–273.
- Sackett, R.S. (1934) The influence of symbolic rehearsal upon the retention of a maze habit. [*Journal of General Psychology*], 10, 376–395. doi: 10.1080/00221309.1934.9917742
- Savoyant, A. (1988) Mental practice: Image and mental rehearsal of motor action. In M. Denis, J. Englekamp, & J. Richardson (Eds.) Cognitive and neurophysiological approaches to mental imagery. The Hague, Martinus Nyhoff, 251–257. doi: 10.1007/978-94-009-1391-2_23
- Sharma, N., & Baron, J.C. (2013) Does motor imagery share neural networks with executed movement: a multivariate fMRI analysis. [*Frontiers in Human Neuroscience*], 7, 564. doi: 10.3389/fnhum.2013.00564
- Sim, E.J., Helbig, H.B., Graf, M., & Kiefer, M. (2015) When action observation facilitates visual perception: activation in visuo-motor areas contributes to object recognition [*Cerebral cortex*], 25(9), 2907–2918. doi: 10.1093/cercor/bhu087

- Slade, J.M., Landers, D.M., & Martin, P.E. (2002) Muscular activity during real and imagined movements: a test of inflow explanations. [*Journal of Sport and Exercise Psychology*], 24(2), 151–167. doi: 10.1123/jsep.24.2.151
- Spittle, M., & Morris, T. (2011) Can internal and external imagery perspectives be trained? [*Journal of mental imagery*]. 35(3–4), 81–104.
- Surkov, E.N. (1982) Anticipation in sport. Moscow, Fizkul'tura i sport, 145.
- Tomasino, B., Budai, R., Mondani, M., Skrap, M., & Rumiati, R.I. (2005) Mental rotation in a patient with an implanted electrode grid in the motor cortex. [*Neuroreport*], 16(16), 1795–1800.
- van Elk, M., van Schie, H.T., Zwaan, R.A., & Bekkering, H. (2010) The functional role of motor activation in language processing: motor cortical oscillations support lexical-semantic retrieval. [*Neuroimage*], 50(2), 665–677.
- Witt, J.K., Kemmerer, D., Linkenauger, S.A., & Culham, J. (2010) A functional role for motor simulation in identifying tools. [*Psychological Science*], 21(9), 1215–1219. doi: 10.1177/0956797610378307
- Xie, F., Xu, L., Long, Z., Yao, L., & Wu, X. (2015) Functional connectivity alteration after real-time fMRI motor imagery training through self-regulation of activities of the right premotor cortex. [*BMC neuroscience*], 16(29). doi: 10.1186/s12868-015-0167-1
- Yue, G., & Cole, K.J. (1992) Strength increases from the motor program: comparison of training with maximal voluntary and imagined muscle contractions [*Journal of neurophysiology*], 67(5), 1114–1123.