

Частное учреждение образования
«Минский институт управления»

Физиология поведения

Курс лекций

1-23.01.04 - ПСИХОЛОГИЯ

4 издание переработанное и дополненное

Минск
Изд-во МИУ
2013

Лекция 22

Управление движениями

Движения (включая речь и письмо) — главное средство взаимодействия организма человека с окружающей средой. В этом взаимодействии возникают рефлекторные ответы, побуждаемые стимулами внешней среды, и активность, инициируемая «изнутри». Мозг не просто отвечает на стимулы, поступающие извне, он находится в постоянном диалоге со средой, причем инициатива в нем принадлежит именно мозгу.

Применительно к движениям животных и человека объектом управления является опорно-двигательный аппарат. Своеобразие скелетно-мышечной системы заключается в том, что она состоит из большого количества звеньев, подвижно соединенных в суставах, которые допускают поворот одного звена относительно другого. Суставы могут позволять звеньям поворачиваться относительно одной, двух или трех осей, т.е. обладать одной, двумя или тремя степенями свободы. Общее число степеней свободы у скелета человека превышает 200.

Скелетные мышцы представляют собой своеобразные двигатели, которые преобразуют химическую энергию непосредственно в механическую работу и теплоту. В связи с особенностями молекулярных механизмов сокращения, развитие силы автоматически сопровождается изменениями упругости и вязкости мышечного волокна. Кроме того, напряжение волокна зависит от его длины (угла в суставе) и от скорости его удлинения или укорочения. Один двигательный нейрон (мотонейрон) иннервирует не всю мышцу, а лишь небольшую часть составляющих ее волокон. Эти волокна рассредоточены по мышце, и между ними, как правило, расположены волокна, управляемые другими мотонейронами. Мотонейрон и группа иннервируемых им мышечных волокон образуют двигательную единицу (ДЕ).

В одну ДЕ может входить от 10 — 15 (в наружных глазных мышцах) до многих сот мышечных волокон в крупных мышцах конечностей. Мелкие мышцы кисти могут насчитывать всего 30—40 ДЕ, а в двуглавой мышце плеча более 700 ДЕ.

Проприорецепция - это глубокомышечная чувствительность. Для успешной реализации движений необходимо, чтобы управляющие центры в любой момент времени располагали информацией о положении звеньев тела, в пространстве и о том, как протекает движение. В то же время движения являются мощным средством получения информации об окружающем мире.

Некоторые виды сенсорной информации, например, осязательная и зрительная, вообще могут быть получены только посредством определенных движений (соответственно кисти и пальцев или глаз).

Особое значение для управления движениями имеют сигналы двух типов мышечных рецепторов — мышечных веретён и сухожильных органов Гольджи. В каждой мышце человека можно встретить группы более тонких и коротких, чем остальные, мышечных волокон, заключенных в соединительнотканную капсулу длиной несколько

миллиметров и толщиной несколько десятков микрон. Из-за своей формы эти образования получили название «мышечные веретена». Мышечные веретена — это сложные образования, имеющие как эфферентную, так и афферентную иннервацию.

В отличие от веретён, расположенных параллельно мышечным волокнам, сухожильные органы Гольджи располагаются последовательно в месте перехода мышечных волокон в сухожилие. Эти рецепторы являются специализированными окончаниями толстых афферентных волокон первой группы и частота их разрядов пропорциональна развиваемой мышечной силе.

В суставных капсулах, внутрисуставных и внесуставных связках имеются механорецепторы - тельца Руффини, которые активируются при движениях в суставе. Все перечисленные ранее типы рецепторов обеспечивают так называемую «проприоцептивную чувствительность», снабжая ЦНС информацией о состоянии опорно-двигательного аппарата.

У животных спинной мозг может осуществлять довольно обширный класс функций, вплоть до «спинального шагания». У человека на спинальном уровне протекают лишь простейшие координации. Нервные механизмы ствола мозга существенно обогащают двигательный репертуар, обеспечивая правильную установку тела в пространстве за счет шейных и лабиринтных рефлексов, а также нормального распределения мышечного тонуса. Важная роль в координации движений принадлежит мозжечку. Такие качества движения, как плавность, точность и необходимая сила, реализуются с участием мозжечка путем регуляции временных, скоростных и пространственных характеристик движения. Полушария мозга (кора и базальные ганглии) обеспечивают наиболее тонкие координации движений — двигательные реакции, приобретенные в ходе индивидуальной жизни. Осуществление этих реакций базируется на рефлекторном аппарате мозгового ствола и спинного мозга, функционирование которого многократно обогащается деятельностью высших отделов ЦНС.

У человека двигательные функции достигли наивысшей сложности в связи с переходом к прямохождению и прямостоянию. В управление движениями человека включены высшие формы деятельности мозга, связанные с сознанием, что дало основание называть соответствующие движения «произвольными».

Система управления движениями состоит из следующих уровней:

Уровень А. Это древний уровень, который управляет, главным образом, мускулатурой туловища и шеи. Управляемые им движения — плавные, выносливые, как бы смесь равновесия и движения. Он обеспечивает тонус всей мускулатуры. Действия этого уровня полностью произвольны.

Уровень В. Уровень синергий (сочетанных движений) и штампов. Движения этого уровня отличаются обширностью вовлекаемых в синергию мышц и характеризуются склонностью к стереотипам, периодичности. Это афферентация собственного тела.

Уровень С. Уровень пространственного поля. Афферентация этого уровня — синтетическое пространственное поле.

Пространственное поле — это восприятие и владение внешним окружающим пространством. Оно заполнено объектами (с их формой, размерами и массой) и силами, исходящими от этих объектов и действующими между ними.

Между иерархически устроенными уровнями существует сложное разделение труда и разделение на ведущий уровень и фоновый (в зависимости от текущей двигательной задачи и условий ее реализации).

Управление движениями немислимо без согласования активности большого количества мышц. Характер этого согласования зависит от двигательной задачи.

Так, если нужно взять стакан воды, то ЦНС должна располагать информацией о положении стакана относительно тела и об исходном положении руки. Однако, для выполнения движения, нужно, чтобы кисть заранее раскрылась на величину, соответствующую размеру стакана. При этом сгибатели пальцев должны сжимать стакан с силой, достаточной для предотвращения проскальзывания, чтобы приложенная сила была достаточной для плавного подъема, но не вызывала резкого отрыва, чтобы ориентация стакана в кисти после захвата все время была вертикальной.

Т.е. для осуществления движения должна быть сформирована двигательная программа.

Двигательную или центральную программу рассматривают как заготовленный набор базовых двигательных команд, а также набор готовых корректирующих подпрограмм, обеспечивающих реализацию движения с учетом текущих афферентных сигналов и информации, поступающей от других частей ЦНС.

Зарождение побуждения к движению связано с активностью подкорковых и корковых мотивационных зон. Замысел движения формируется в ассоциативных зонах коры. Далее происходит формирование программы движения с участием базальных ганглиев и мозжечка, действующих на двигательную кору через ядра таламуса. За реализацию программы отвечает двигательная кора и нижележащие ствольные и спинальные двигательные центры.

Предполагается, что двигательная память содержит обобщенные классы двигательных программ, из числа которых в соответствии с двигательной задачей выбирается нужная. Программа модифицируется применительно к ситуации: однотипные движения могут выполняться быстрее или медленнее, с большей или меньшей амплитудой. Одна и та же программа может быть реализована разными наборами мышц.

Двигательная программа может быть реализована различными способами. В простейшем случае ЦНС посылает к мышцам заранее сформированную последовательность команд, не подвергающуюся во время реализации никакой коррекции. В этом случае говорят о разомкнутой системе управления. Подобное управление используется при осуществлении быстрых, так называемых «баллистических»

движений. Чаще всего ход осуществления движения сравнивается с его планом на основе сигналов от многочисленных рецепторов, и в реализуемую программу вносятся нужные коррекции. Это замкнутая система управления с обратными связями. Однако и такое управление имеет недостатки. В связи с относительно малыми скоростями проведения сигналов, значительными задержками в центральном звене обратной связи и значительным временем, необходимым для развития усилия мышц, коррекция движения по сигналу обратной связи может запаздывать. Поэтому во многих случаях целесообразно реагировать не на отклонение от плана движения, а на само внешнее возмущение еще до того, как оно успело вызвать отклонение. Такое управление называют управлением по возмущению.

Другим способом уменьшения влияния задержек является антиципация. Во многих случаях центральная нервная система способна предусмотреть в двигательной программе появление возмущений еще до их возникновения. Эта упреждающая «позная» активность (антиципация) осуществляется автоматически с очень короткими центральными задержками. Например, если официант удерживает на ладони вытянутой руки поднос с бутылкой шампанского и рюмками, а другой человек внезапно снимет бутылку с подноса, то рука резко подпрыгнет вверх с соответствующими последствиями. Если же он сам снимет бутылку свободной рукой, то рука с подносом останется на прежнем уровне.

Координацию движений можно определить, как способность реализовать движение в соответствии с его замыслом. Например, изолированное сгибание пальцев руки невозможно без одновременной активации разгибателей кисти, препятствующих действию сгибателей пальцев в лучезапястном сочленении.

Аналитическая классификация мышц не всегда соответствует их функциональной роли в движениях. Так, некоторые мышцы в одном суставе осуществляют сгибание, а в другом — разгибание. Антагонист может возбуждаться одновременно с агонистом для обеспечения точности движения, и его участие помогает выполнить двигательную задачу. В связи с этим в каждом конкретном двигательном акте можно выделить основную мышцу (основной двигатель), вспомогательные мышцы (синергисты), антагонисты и стабилизаторы (мышцы, которые фиксируют не участвующие в движении суставы). Мышцы не только сокращаются, приводя в движение соответствующие звенья: антагонисты и стабилизаторы часто функционируют в режиме растяжения под грузом, при этом поглощая и рассеивая энергию. Этот режим используется для плавного торможения движений и амортизации толчков. При поддержании позы многие мышцы работают в режиме, при котором их длина практически не изменяется.

На конечный результат движения влияют не только силы, развиваемые мышцами, но и силы немышечного происхождения. К ним относятся силы инерции, создаваемые массами звеньев тела, которые вовлекаются в движение, а также силы реакции, возникающие в кинематических цепях при смещении любого из звеньев. Движение

смещает различные звенья тела относительно друг друга и меняет конфигурацию тела. Вследствие изменения суставных углов меняются и моменты упомянутых сил.

На ход движения влияет и гравитация. Силы немышечного происхождения вмешиваются в процесс движения и делают необходимым непрерывное согласование с ними деятельности мышечного аппарата. Кроме того, необходимо учитывать действие непредвиденных помех, которые могут возникать во внешней среде, и оперативно исправлять допущенные в ходе реализации движения ошибки.

Наряду с этими помехами, возникающими при осуществлении движения, существует еще одна принципиальная сложность, возникающая еще на этапе планирования движения. Это избыточность степеней свободы двигательного аппарата.

Движения человека очень разнообразны, однако все это разнообразие можно свести к небольшому количеству основных типов активности: обеспечение позы и равновесия, локомоция или ходьба - активное перемещение в пространстве на расстояния, значительно превышающие характерные размеры тела и произвольные движения.

Поддержание позы у человека обеспечивается теми же физическими мышцами, что и движение, а специализированные тонические мышцы отсутствуют. При «позной» деятельности мышц сила их сокращения обычно невелика, режим близок к изометрическим показателям, а длительность сокращения значительна. Одной из основных задач «позной» активности — удержание нужного положения звеньев тела в поле силы тяжести (удержание головы от свисания, голеностопных суставов от тыльного сгибания при стоянии и др.). «Позная» активность может быть направлена и на фиксацию суставов, не принимающих участия в осуществляемом движении. В трудовой деятельности удержание позы бывает связано с преодолением внешних сил.

Типичный пример позы — стояние человека. Сохранение равновесия при стоянии возможно в том случае, если проекция центра тяжести тела находится в пределах опорного контура. Обеспечение устойчивости достигается активной работой многих мышц туловища и ног, причем развиваемая этими мышцами сила невелика. Максимальное напряжение при стоянии развивают мышцы голеностопного сустава, а минимальное напряжение — мышцы коленного и тазобедренного суставов. У большинства мышц активность поддерживается на более или менее постоянном уровне. Другие мышцы активируются периодически. Эта активация связана с небольшими колебаниями центра тяжести тела, как в сагиттальной, так и во фронтальной плоскости, постоянно происходящими при стоянии. Мышцы голени противодействуют отклонениям тела, возвращая его в вертикальное положение. Поддержание позы это активный процесс, осуществляющийся, как и движение, с участием обратных связей от рецепторов. В поддержании вертикальной позы участвуют зрение и вестибулярный аппарат. Важную роль играет и проприорецепция. Поддержание равновесия при стоянии — только частный случай «позной» активности.

К понятию позы примыкает понятие мышечного тонуса. Термин «тонус» многозначен. В покое мышечные волокна обладают тургором, определяющим их сопротивление давлению и растяжению. Это составляет тот компонент тонуса, который не связан со нервной активацией мышцы, обуславливающей ее сокращение. Однако в естественных условиях большинство мышц обычно в некоторой степени активируются нервной системой, в частности, для поддержания позы («позный» тонус). Другой важный компонент тонуса — рефлекторный, определяющийся рефлексом на растяжение. У человека он выявляется по сопротивлению растяжению мышцы при пассивном повороте звена конечности в суставе.

Наиболее распространенной формой локомоции человека является ходьба. Она относится к циклическим двигательным актам, при которых последовательные фазы движения периодически повторяются. Бег отличается от ходьбы тем, что нога, которая находится позади, отталкивается от опоры раньше, чем другая нога опускается на нее. В результате в беге имеется безопорный период - период полета.

Произвольными движениями в широком смысле могут быть названы самые разные движения, совершаемые как в процессе труда, так и в повседневной жизни.

Совершенствование двигательной функции в онтогенезе происходит как за счет продолжающегося в первые годы после рождения созревания врожденных механизмов, участвующих в координации движений, так и в результате научения, т.е. формирование новых связей, которые ложатся в основу программ тех или иных конкретных двигательных актов. Координация новых непривычных движений имеет характерные черты, отличающие ее от координации тех же движений после обучения.

Важную роль в обучении движениям играет рецепция, особенно проприорецепция. В процессе двигательного научения обратные связи используются не только для коррекции движения по его ходу, но и для коррекции программы следующего движения на основе ошибок предыдущего.

Взаимодействие организма с внешней средой строится мозгом на основе модели внешнего мира и модели собственного тела.

Вывод о наличии в ЦНС модели собственного тела был впервые сделан на основе клинических наблюдений фантома ампутированных. Человек, утративший конечность, в течение длительного времени субъективно продолжает ощущать ее присутствие.

Другим источником представлений о схеме тела явились клинические наблюдения, показывающие, что некоторые формы церебральной патологии, особенно поражения правой теменной доли, приводят к возникновению стойких искаженных представлений о собственном теле и окружающем пространстве. Среди этих нарушений встречаются одностороннее игнорирование одной конечности или половины тела на пораженной стороне.

Многообразие нарушений делится на три группы:

а) нарушение представлений о принадлежности частей тела;

б) нарушение правильных представлений в форме, размерах и положении частей тела;

в) иллюзорные движения.

подавляющая часть наших движений пространственно ориентирована, т.е. направлена на достижение определенной точки в пространстве. Пространственно ориентированной является и поза. Именно поэтому управление позой и движениями требует системы отсчета, в которой представлено как тело, так и окружающее пространство.

В зависимости от того, выполняются ли движения относительно собственного тела или относительно системы координат, связанной с пространством, изменяется активность нейронов в различных областях мозга.

Своеобразным клиническим подтверждением существования системы внутреннего представления является игнорирование пациентом половины своего тела и внешнего пространства (обычно левой) при поражениях правой теменной доли.

Нейронная модель тела, механизмы поступления систем отсчета, набор базисных моторных автоматизмов и алгоритмов их согласования составляют основу, на которой формируется внутреннее представление о собственном теле и окружающем пространстве. Система внутреннего представления играет ведущую роль в задачах переработки сенсорной информации и реализации пространственно ориентированных движений. Реакции, которые у животных считаются классическими примерами рефлекторных «позных» автоматизмов, у человека в сильной степени определяются тем, как описывается взаимное положение головы, туловища и конечностей в этой системе.