

МОДУЛЬ 1: Моторная кора и кортико-спинномозговой путь

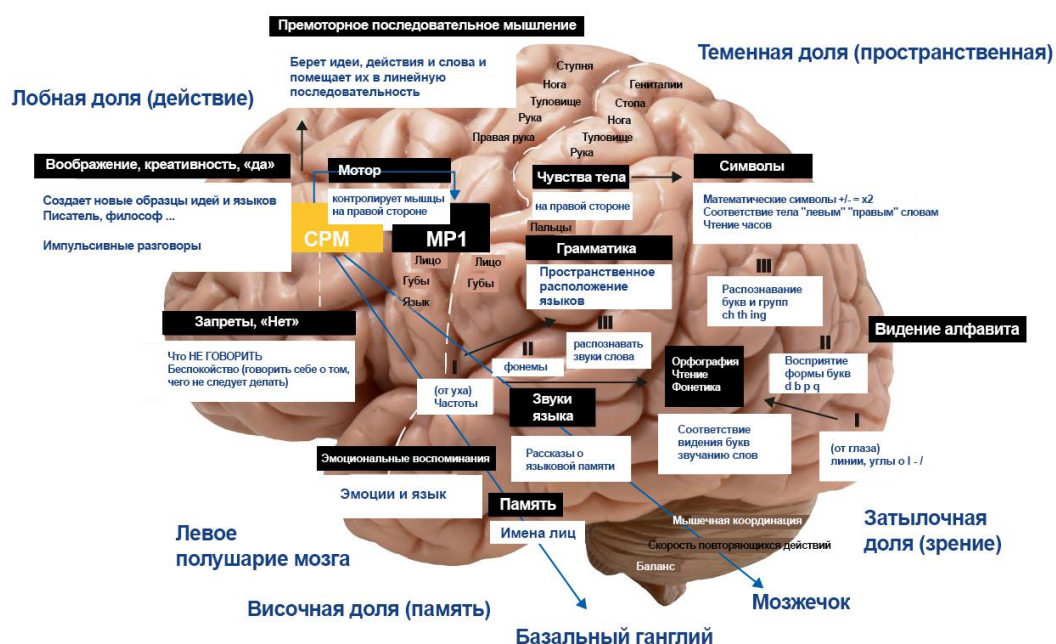
1.1 Моторные области

1.1.1 Размеры моторной программы

После окончательного решения, которое налагает вето или инициирует моторную программу в дополнительной моторной предварительной области (pre-AMS), она распределяется по различным секторам SNC. Среди основных направлений мы выделяем следующие, не исключая возможности других (их функции различаются, и все они важны):

- Первичная моторная сфера.
- Мозжечок.
- Базальный ганглий.

Рисунок 1: Размеры моторной программы



Источник: самостоятельная разработк

Глобальное описание этих направлений

Очевидно, что непосредственным местом назначения является первичная моторная кора или зона 4 Бродмана, также называемая МР1. Однако два других пункта назначения также получают данные от эфферентной двигательной программы или копии (ожидаемое значение): базальные ганглии и мозжечок. Ганглии в основании отвечают за мышечный тонус, ускорение и торможение, а мозжечок отвечает за необходимые коррекции и ровки или изменение программы, если это необходимо.

Один из самых захватывающих аспектов связан с инициированием произвольных действий и их немедленным развитием, которое включает в себя связь между домоторной корой и первичной моторной корой. На данный момент нас интересует связь между домоторной корой (СРМ) и первичной моторной корой (МР1). Это то, что запускает само движение и способствует самому действию, хотя два других направления моторной программы также имеют решающее значение, особенно для понимания управления моторикой, которую мы проанализируем позже.

Первичная моторная область

Основная моторная область отвечает за начало движений, посылая эфферентные сигналы моторным ядрам спинного мозга. Как будет подробно описано в следующем разделе, МР1 не действует в одиночку, но является последним шагом перед тем, как влияние достигнет костного мозга. Первичная моторная область получает сигналы от пред-моторной области, которая отвечает за хранение моторных программ, которые человек создает на протяжении всей своей моторной истории.

Первичная моторная зона не может отправлять выходной сигнал мотора, если дополнительная моторная зона не санкционирует сначала инициирование действия. Существуют и другие нервные структуры, которые отправляют входные данные в МР1, что будет подробно описано в других темах этого курса.

Базальный ганглий

С физиологической точки зрения, ганглиями в основании считаются: хвостатое ядро, скорлупа, бледный шар, черная субстанция и суб-таламус. Однако важные части таламуса, ретикулярной формации и красного ядра работают в тесном взаимодействии с первыми.

Ганглии основания выполняют функции, влияющие на мышечную деятельность. Они «содержат набор моторных автоматизмов или инграмм, которые, используемые в соответствии с контекстом, будут способствовать вмешательству соответствующих мышц» (Rigal, 1987, стр. 86).

Мозжечок



Это один из органов, из которых состоит мозг. Он отвечает за регулирование мышечного тонуса, баланса (тоника) и облегчения движений за счет тонической предварительной активации мышц (Rigal, 1987).

Мозжечок участвует в сенсомоторной интеграции и, таким образом, способствует двигательному контролю. Процессы, осуществляемые этим органом, в целом не являются предметом для сознания, поскольку являются подкорковыми действиями.

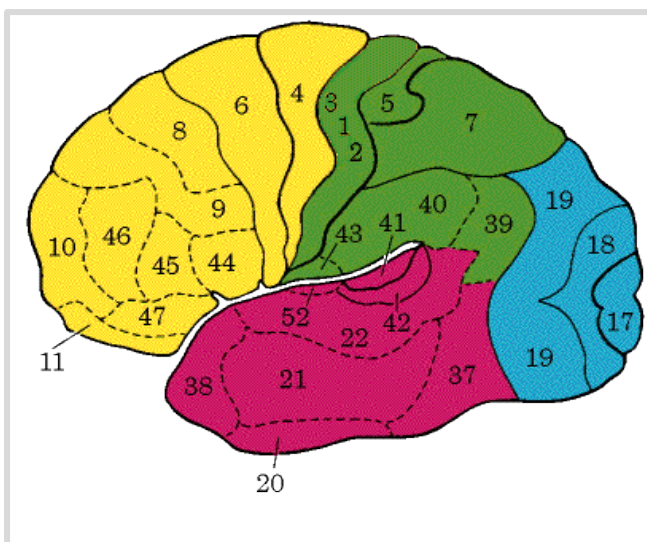
На основе входных данных, которые он получает от различных проприорецепторов, мозжечок может воздействовать на движение и, таким образом, производить небольшие корректировки или изменять двигательное действие. Это потому, что этот орган получает моторную копию ранее запрограммированного движения и постоянно сравнивает ее с тем, что выполняется (Snell, 1999).

1.1.2 СРМ и МР1, пианист и кинестетическая мелодия

На передней поверхности фиссуры Роландо (центральная борозда) находится прецентральная извилина, в которой находится первичная моторная зона (PM1). Прецентральная область характеризуется «почти полным отсутствием зернистых слоев и преобладанием пирамидных нервных клеток» (Snell, 1999, с. 297).

Прецентральная область Её можно разделить на две области: переднюю и заднюю. В переднем отделе находится домоторная область, которая включает область Бродмана 6 и части 8, 44 и 45. В задней части, с другой стороны, находится первичная моторная зона или зона Бродмана 4. Когда этот сектор электрически стимулируется, движения на противоположной стороне тела происходят в результате мышечных сокращений, вызванных этим стимулом.

Рисунок 2: Площади Бродмана



Источник: Unam (s. F.). Получено с <http://www.facmed.unam.mx/Libro-NeuroFisio/10-Sistema%20Motor/10a-Movimiento/FigsCerebro/Brodmann-01.gif>.



В прецентральной области движения представлены в перевернутом виде (Snell, 1999). Это объясняется следующим образом: в нижней части прецентральной коры находятся структуры, отвечающие за глотание, такие как язык, верхняя челюсть, гортань и другие структуры, такие как веки, брови и губы. Двигаясь вверх, вы можете найти большую область, которая обрабатывает движения пальцев, запястий, локтей, плеч и туловища. В высшем секторе прецентральной коры представлены движения бедер, колен, лодыжек. Размер области, которая управляет каждым движением, будет зависеть от точности и навыков, которые требуются для каждого движения: чем точнее движения данного сегмента, тем большее измерение будет представлять его в этой области (см. Моторный гомункулус).

Ссылаясь на вышесказанное, мы можем сказать, что область 4 отвечает за стартовые движения различных секторов тела, хотя это ни при каких обстоятельствах не означает, что она действует изолированно. Первичная моторная кора головного мозга (PM1) «является последней станцией для преобразования конструкции в выполнение движения» (Snell, 1999, стр. 299). MP1 не создает паттерн движения, он выполняет его на основе информации, которую он получает от таких структур, как ганглии основания, мозжечка, таламуса и чувствительной коры.

Чтобы объяснить работу MP1, мы можем сравнить эту структуру с клавиатурой фортепиано, где клавиши будут представлять мышцы и где их действие в движении будет зависеть от того, на каких клавишах играет музыкант. Каждая мышца будет иметь определенное количество ключей: чем больше у нее моторных единиц, тем больше ключей имеет рассматриваемая мышца. Количество иннервирующих его двигательных единиц будет зависеть от точности выполняемых им движений (это будет подробно описано в разделе «Двигательный гомункулус»).

В премоторной области нет гигантских пирамидных клеток Беца, поскольку ее специфическая функция заключается не в том, чтобы отвечать за выполнение движений, а в хранении моторных программ, которые производятся на основе моторных опытов прошлого. Премоторная кора головного мозга (CPM) получает множество сенсорных сигналов от различных нервных структур, таких как таламус и базальные ганглии.

Помимо конкретных областей, отвечающих за двигательную активность, еще один очень важный факт - это способ ввода информации в кору головного мозга. Одна проблема, которую следует учитывать, заключается в том, что когда информация достигает области первичной проекции, это происходит не случайно, а скорее следует по очень специфическому пути в зернистых слоях. Другой интересной деталью областей первичной проекции является наличие топографии, которая учитывает распределение рецепторов на периферии. Например: в области первичной визуальной проекции или области 17 Бродмана каждый сектор сетчатки соответствует определенному набору нейронов (стержни сетчатки соответствуют сектору самой удаленной области первичной проекции [APP], а конусы соответствуют более глубокому или центральному сектору). В этих областях первичной проекции доступ к информации упорядочен, и стимуляция составляющих их нейронов также следует определенному порядку. Комбинация этой информации между гранулированными слоями также следует



точному порядку. Существует структурный и функциональный порядок для лучшего качества сбора информации (Snell, 1999).

Наконец, что касается подхода к предмету нейромоторного программирования, мы предлагаем в силу его сложности сравнить его с игрой. Спектакль остается неизменным с годами. Ваш сценарий, ваши сцены, персонажи могут быть немного изменены. Но если те, кто в нем снимался, были необходимы, то, когда они стареют и умирают, спектакль не может продолжаться. Именно по этой причине актёры условны, они временны, то есть могут быть, а могут и не быть. Вместо этого важна сама работа, то есть энграмма. На самом деле главные герои или актеры - это мышцы, и процесс программирования решает, какая мышца исполняет игру. Если бы мышца была существенной и столкнулась бы с какой-то проблемой, такой как болезнь или ограничение, мы больше не могли бы отображать инграмму, и это было бы большим недостатком в истории эволюции. Напротив, то, что контингент - это мышца, а не энграмма, является преимуществом. Программирование - это принятие решений относительно главного героя инварианта или инграммы. Короче говоря, это сборка последовательности уже с очень специфическими действующими лицами, которые представляют собой различные мышцы, развивающие движение. Когда дополнительная моторная область дает «добро» на начало действия, то есть разблокирует или разрешает его инициирование, моторная программа передается в первичную моторную кору, чтобы начать последовательное развитие. Таким образом возбуждающая информация проходит через спинной мозг к различным группам мышц, так что движение в конечном итоге разворачивается.

Некоторые предлагают сравнить моторную программу с кинестетической мелодией, как выразился Александр Лурия (1973), который понимал моторную программу как музыкальную партитуру, производимую в мозгу. Реализацией этой партитуры будет мелодия, отвечающая за мышечную активацию или мышцы, которые будут выполнять роль музыкантов и будут управляться мозжечком.

Ближе к концу двигательного акта, когда двигательная программа готова, несколько копий излучаются в разные секторы нервной системы еще до того, как движение перестает быть запрещенным дополнительной моторной областью и начинает разворачиваться от действия первичной моторной области. Ганглии основания получают данные о двигательной программе, прежде чем приступить к ее выполнению, и наш мышечный тонус начинает формироваться так, что качество движения поддерживается эффективным фоном (среди них красное ядро, которое управляет гамма-активностью). Также мозжечок получит копию, чтобы иметь возможность регулировать двигательный акт и сравнивать его на практике с «идеальной» моделью.

Как только моторная программа выбрана СРМ, и МР1 готов задействовать моторные единицы. Вступает в действие дополнительная моторная зона (AMS), которая отвечает за предоставление МР1 разрешения действовать, задерживать начало движения или напрямую отменять моторное действие. Можно сказать, что AMS - это тот, кто разрешает пианисту начать свою работу.

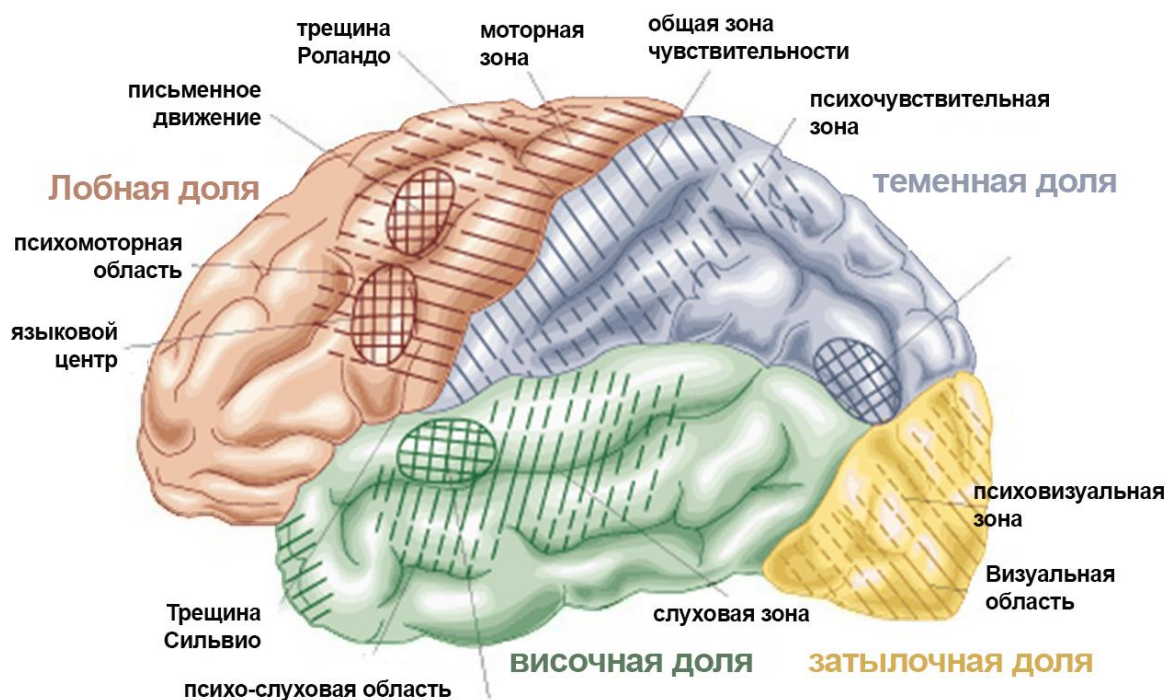
В процессах обучения новым движениям их выполнение будет подразумевать важную активность сознания, тогда как сознательные процессы будут происходить не во время



программирования, а в момент запуска этого нового жеста, движения или действия. В этих случаях префронтальная кора (ПФК), наряду с другими нервными структурами, отвечает за сборку всех компонентов и параметров, составляющих моторную программу.

Пока деятельность осуществляется регулярно, ответственность СПС за ее регулирование будет уменьшаться, и, таким образом, она оставляет ее свободной для других действий. Это связано с тем, что задачи, которые ранее выполнялись ПФС при автоматизации движения, теперь будут выполнять подкорковые нервные центры. Когда это происходит, такие структуры, как ганглии в основании, отвечают за управление движением, а кора головного мозга освобождается для выполнения других функций, таких как принятие решений.

Рисунок 3: Программирование пианиста и мотора



Источник: собственная разработка на основе [Изображение без названия, посвященное программированию мотора]. (s. f.). Получено с https://nathaliab.files.wordpress.com/2009/11/funciones_cerebro.gif

1.1.3 Моторный гомункул

Информация, которая была собрана рецепторами и изменила состояние сенсорного нейрона, продолжает свой путь к центрам управления,



переключается и достигает коры головного мозга. Эта информация, наконец, достигает коры головного мозга, т.е. места, которое мы называем областью первичной проекции, или, другими словами, областей, которые специализировались на получении этой информации, после того, как она была обработана различными латеральными колленчатными ядрами таламуса.

Среди основных проекционных областей, которые осуществляют обработку нейромоторной информации, мы можем упомянуть: в затылочной доле - область Бродмана 17; в височной доле - область 41; в теменной доле (восходящая височная извилина) зоны 3, 1 и 2 для обработки механической, термической, а также болезненной информации; область 5 для проприоцептивной информации; и, наконец, область 7 для вестибулярной информации (Guyton, 2006).

Какие особенности проявляют эти области первичной проекции?

Для начала можно сказать, что размер, «назначенный» каждой части тела, в каждой области первичной проекции, зависит от плотности рецепторов, которые включены в этот сектор тела, поэтому и имеется идея маленького человека - сенсорного «гомункула».

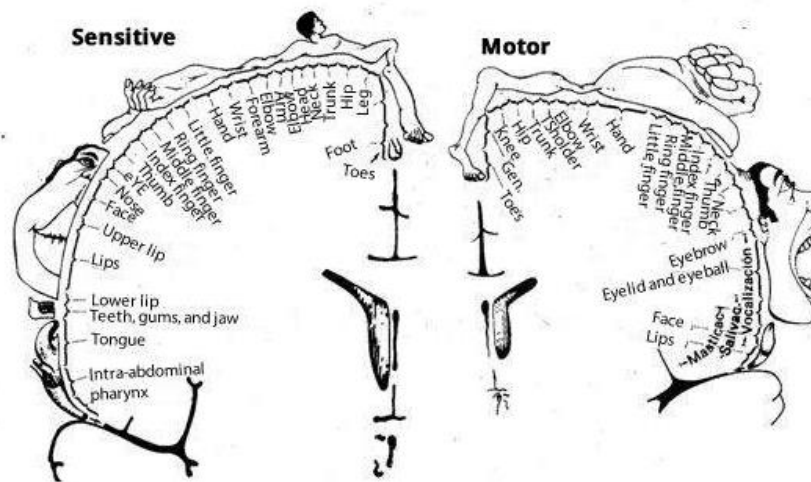
Второе, что следует учитывать, это то, что эти области отображают распределение рецепторов в остальной части нашего тела, обеспечивая возможность осознавать внутренний и внешний мир. Чтобы построить объект восприятия, наш мозг должен отображать распределение систем сбора информации, которые находятся на периферии нашего тела.

Наш мозг, в некотором роде, также представляет собой небольшую карту, которая учитывает распределение рецепторов на периферии. Именно эта рециркуляция информации, захваченной с периферии структурами ЦНС, позволяет нам не только осознавать внешний мир, но и порождать феномен самосознания, то есть возможность обнаружения того, что мы воспринимаем, а также и того, что мы не воспринимаем, то есть внутренний мир.

Что касается сенсорного гомункула, он представлен различными графическими способами.



Рисунок 4: Моторный гомункулус и сенсорный гомункулус



Источник: [Изображение без названия о моторном гомункуле и сенсорном гомункуле].
 (s. f.). Получено с http://wm0376057.web-maker.es/.cm4all/iproc.php/Imagenes/homunculo.jpg/downsize_1280_0/homunculo.jpg.

Toes	Пальцы ног
Foot	Стопа
Leg	нога
Hip	бедро
Trunk	сундук
Neck	шея
Head	глава
Elbow	локоть
Arm	рука
Fore arm	для руки
Wrist	запястье

Hand	рука
little finger	мизинец
middle finger	средний палец
index finger	указательный палец
thumb	большой палец
eye	глаз
nose	нос
face	лицо
upper lip	верхняя губа
lips	губы
lower lip	нижняя губа
teeth, gums and jaw	зубы, десны и челюсть
tongue	язык
intra abdominal	внутрибрюшной
pharynx	глотка

toes	пальцы ног
gen	ген
knee	колени



hip	бедро
trunk	сундук
shoulder	плечо
elbow	локоть
wrist	запястье
hand	рука
little finger	мизинец
ring finger	Безымянный палец
middle finger	средний палец
index finger	указательный палец
thumb	большой палец
neck	шея
eyebrow	бровь
eyelid and eyeball	веко и глазное яблоко
face	лицо
lips	губы
Masticar	Жевание
Salivar	Слюноотделение
Vocalización	Вокализация



Мы можем наблюдать большие размеры рук, рта, губ и языка, то есть все те участки нашего тела, где у нас очень высокая плотность рецепторов, которые имеют чрезвычайно маленькое сенсорное поле. Это происходит в секторах тела, из которых мы должны собирать огромное количество информации и, в свою очередь, с большой дискриминационной способностью, что явно дает нам эволюционные преимущества.

Между сенсорным гомункулом и моторным гомункулом есть различия и сходства: чем больше потребность в управлении мелкой моторикой и, следовательно, чем больше репрезентативное пространство в моторном гомункуле, тем больше корковое сенсорное репрезентативное пространство. Другими словами, там, где нам нужна более точная и откалиброванная настройка мотора, нам также нужна более высокая плотность приемников, поэтому мы находим большое сходство между гомункулами. Исключение составляет область гениталий, где нам нужна очень высокая чувствительность, однако для репродуктивной функции нам не нужна мелкая моторика (здесь нет сходства между сенсорными и моторными гомункулами). Если мы посмотрим на функции рук, губ, языка и даже глаз, то сходство между гомункулами будет очень значительным.

Если мы немного углубимся в области первичной проекции, будет очень удивительно, что мы можем найти отличительные корреляты каждой из черт, которые мы фиксируем через каждую конкретную сенсорную систему. Например: в визуальной области есть нейроны, распределенные по разным слоям, которые активируются очень специфическими особенностями объекта, такими как разные длины волн. Есть также нейроны, которые реагируют на вертикальные, наклонные линии или разные углы, а затем завершают построение объекта в процессе восприятия.

Таким образом, мы можем сказать, что находим очень специфические аналитические нейронные корреляты, которые оправдывают сенсорный феномен. Однако восприятие намного сложнее, потому что оно обеспечивает окончательное построение объекта. Оно подразумевает акт созидания, тогда как другие области, другие подсистемы нашего мозга создают объект восприятия или объект сознания.

1.1.4 Сборка как объект сознания

После начала действия кинестетическая мелодия разворачивается последовательно, и ее конечным проявлением является именно нервно-мышечная активация и собственно движение. То есть начинает играть мелодия.

В развертывании должны быть:

- Беглость.
- Собранность.
- Ритм.
- Преемственность.



Здесь мы обнаруживаем, что префронтальная кора (CPF) и другие области должны заниматься сборкой различных компонентов двигательной программы. Распространение кинестетической мелодии контролируется лобной корой, которая не способна осуществлять иные функции. По мере того, как мы автоматизируем движение, префронтальная кора получает возможность выбирать другие программы (Di Santo, 2015).

Двигательные автоматизмы - это те, которые позволяют нам эффективно выполнять двигательные навыки или действия, не задумываясь о них. Благодаря этому мы можем одновременно реализовывать несколько двигательных навыков. Ярким примером является вождение автомобиля: когда мы умеем хорошо водить, многие двигательные действия, такие как переключение передач, нажатие на сцепление, взгляд в зеркало и т. д., мы выполняем автоматически и, следовательно, подкорковым путем.

Есть произвольные движения, которые являются врожденными для человека и над которыми нет абсолютного контроля, но есть движения, на которые можно влиять, такие как, например, дыхание или сердцебиение. Существует также целый набор движений, называемых автоматическими или автоматизированными, которые являются следствием повторения произвольных движений, так что вмешательство сознания и внимания больше не требуется.

Автоматическая моторика (палеокинетика) нейроанатомически соответствует первому надсегментарному палеоэнцефалическому уровню, который включает полосатое тело, субталамическое ядро, черную субстанцию, красное ядро, бугорки четверохолмия, вестибулярные ядра, бульбарную оливу, ретикулярную формацию и мозжечок. У млекопитающих добавляются некоторые области коры головного мозга, которые контролируют эти подкорковые, палеоэнцефалические центры. Во время филогенетического развития палеоэнцефалические центры модифицируют прерывистую рефлекторную активность, что приводит к появлению автоматической моторики (Loyber, 1988).

В заключение скажем, что мы можем разделить двигательную систему на три уровня:

- 1) Верхний уровень: состоит из моторных областей коры, а также включает область 6-4-АМС.
- 2) Промежуточный уровень: он состоит из ствола головного мозга, откуда отходят нервные пути, иннервирующие спинной мозг.
- 3) Нижний уровень: это спинной мозг.

Мы сосредоточимся на верхнем уровне, так как это место, где движения становятся осознанными.

Первый уровень состоит из моторной коры и отвечает за планирование движения и отправку моторных сигналов, которые должны выполняться моторными нейронами, расположенными в спинном мозге. Есть также соединения для регулирования движений головы. Кора головного мозга может действовать на мозговое вещество прямо или косвенно (кортико-спинальное). Выйдя из коры, корково-спинальный пучок



достигает ствола мозга - это то самое место, в котором большинство волокон пересекают среднюю линию и перемещаются на противоположную сторону (латеральный кортико-спинномозговой пучок). Лишь небольшое количество волокон не пересекаются, а идут прямо к мозговому веществу. Большинство волокон кортикоспинального пучка оканчиваются интернейронами, тогда как меньшее их количество оканчивается мотонейронами (Tatorri, 2004).

Движения, которые запрограммированы областью 6 и выполняются областью 4 с помощью реле на мотонейрон позвоночника, являются произвольными или сознательными движениями. В то время как движения, рожденные из нижних нервных центров, могут быть или не быть (Ди Санто, 2015).

Рисунок 5: Иерархические уровни



Источник: собственная разработка



1.2 Гигантские пирамидные клетки Беца и кортико-спинномозговой путь

1.2.1 Кора, слои, сплетения и столбцы

Кора головного мозга состоит из трех четвертей нейронных тел всей нервной системы, и поэтому поддерживает сознательные и произвольные жизненные функции. Кора головного мозга получает чувствительные входные данные от различных частей тела, декодирует, интегрирует, хранит и использует их для адаптации поведения к любой ситуации. (Ригал, 1987).

Кора головного мозга состоит из группы нервных волокон, нейронов, глии и кровеносных сосудов.

В коре мы находим следующие типы нервных клеток:

- Пирамидные клетки (также называемые клетками Беца): они имеют самые большие клеточные тела и находятся в прецентральной моторной извилине. Вершины этих клеток указывают на кору, и из этой вершины рождается дендрит, который идет к мягкой мозговой оболочке (внутренней мозговой оболочке), где он испускает коллатеральные ветви. Аксон этих клеток идет в более глубокие слои коры или входит в белое вещество головного мозга как ассоциативное волокно.
- Звездчатые клетки: это многоугольные клетки, которые имеют несколько разветвленных дендритов и короткий аксон. Они общаются с соседними нейронами.
- Клетки веретена: они находятся в самых глубоких слоях коры и имеют дендриты на полюсах тела клетки. Нижний дендрит разветвляется в одном слое, а верхний дендрит идет вверх к коре головного мозга. Аксон этой клетки направлен в сторону белого вещества, как аксон пирамид.
- Горизонтальные клетки Кахаля: это маленькие клетки, расположенные горизонтально во внешнем слое коры. Аксон этих клеток проходит параллельно коре головного мозга и контактирует с дендритами гигантских клеток Беца. Дендриты рождаются на каждом конце этой клетки.
- Клетки Мартинонни: эти клетки присутствуют во всех слоях коры, а их аксон нацелен на мягкую мозговую оболочку коры (Snell, 1999).

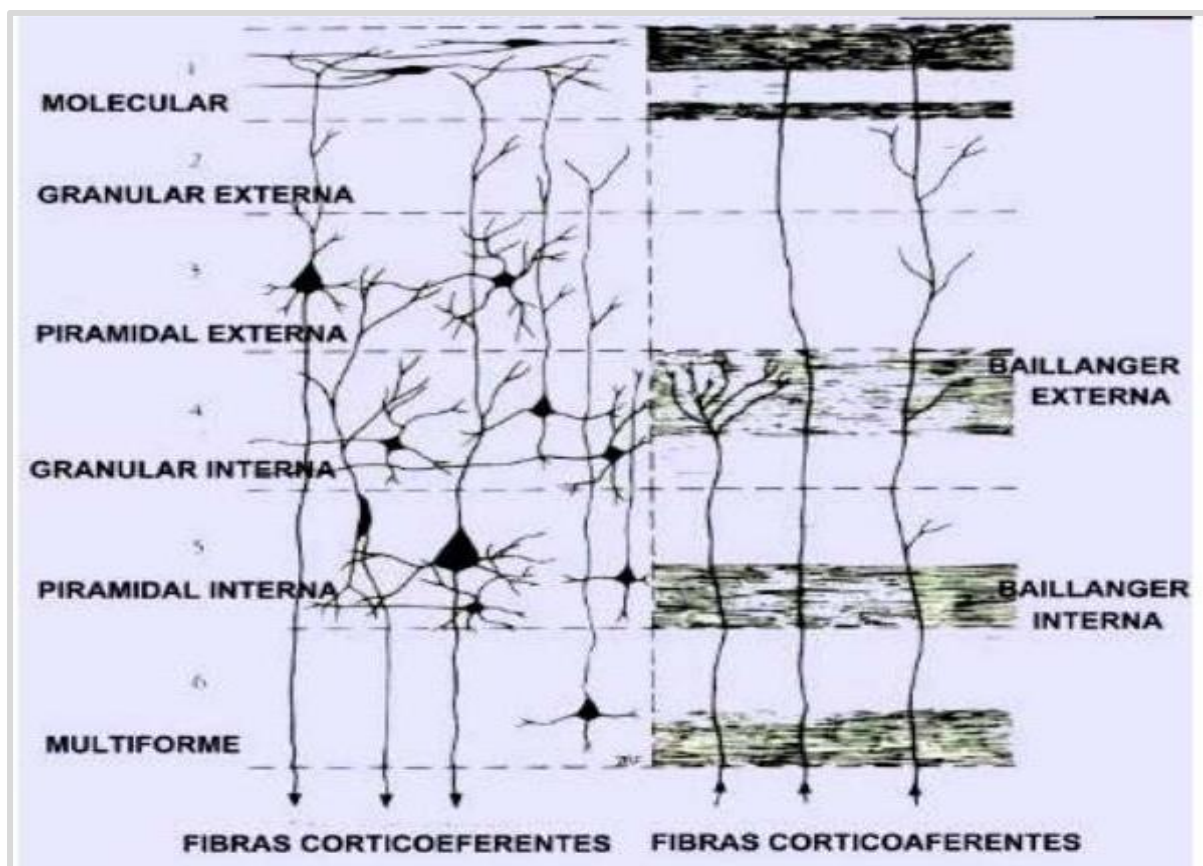
Мы можем разделить кору головного мозга на 6 слоев, от периферии к центру:

- 1) Молекулярный слой: соедините поверхность с нижними слоями.
- 2) Внешний зернистый слой: принимает нервные сигналы от других слоев коры.



- 3) Внешний пирамидный слой: проецирует межкортикальный нервный импульс.
- 4) Внутренний зернистый слой: получает нервный импульс от мозгового и подкоркового центров.
- 5) Внутренний пирамидный слой: направляет нервный импульс в спинномозговые и подкорковые центры.
- 6) Веретенообразный или многоформный слой: проецирует импульс в другое полушарие (Rigal, 1987).

Рисунок 6: Слои коры головного мозга



Источник: [Изображение без названия слоев коры головного мозга]. (2015, 31 июля).
 Получено с <https://image.slidesharecdn.com/corteza-cerebral-1225335354159428-8/95/corteza-cerebral-17-728.jpg?cb=1236975568>.

MOLECULAR	молекулярный
-----------	--------------



GRANULAR EXTERNA	внешний гранулированный
PIRAMIDAL EXTERNA	внешний пирамидальный
GRANULAR INTERNA	внутренний гранулированный
PIRAMIDAL INTERNA	внутренний пирамидальный
MULTIFORME	разнообразный

Как показано на предыдущем изображении, в каждом слое есть разные типы нейронов с разными функциями, отличающими их друг от друга. Нейроны расположены в виде вертикальных столбцов. Несмотря на существование множества теорий о работе колонн, точно известно следующее:

- 1) Поступающий сенсорный сигнал сначала возбуждает нейронный слой IV. Сигнал распространяется к поверхности коры, а также к более глубоким слоям.
- 2) Слои I и II получают диффузные неспецифические сигналы от ретикулярной активаторной системы. Через поступление этих сигналов можно контролировать общий уровень возбудимости коры.
- 3) Нейроны в слоях V и VI проецируют аксоны в другие части нервной системы: одни - в различные области коры, другие - в более глубокие структуры мозга, такие как таламус или ствол, а некоторые даже в продолговатый мозг (Гайтон , 2006).

Каждый вертикальный нейронный столбец отвечает за интерпретацию определенного типа информации (Guyton and Hall, 2006). В зрительной коре определенный столбец будет интерпретировать визуальные сигналы, вызванные линиями, идущими в определенном направлении, в то время как другой столбец будет отвечать за интерпретацию информации от линий других типов, другими способами, с другой толщиной и так далее.

Эти колонны не только выполняют моторную функцию, но также отвечают за моторно-сенсорную интеграцию. Следовательно, чем выше чувствительность в области, тем больше пространство и географическая близость между колоннами (больше плотность).

Мы имеем в виду листы коротких аксонных нейронов, которые отделяют слои друг от друга и соединяют разные секторы коры (Di Santo, 2015).



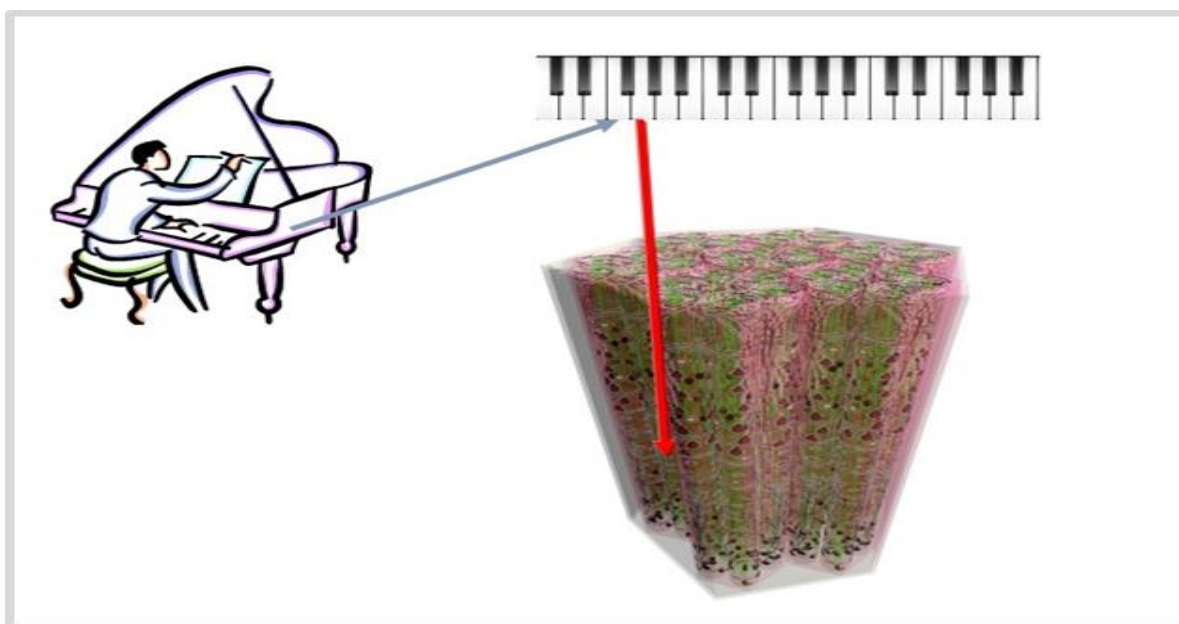
1.2.2 Колоночная организация. Внутримышечная и межмышечная координация

Ранее кинестетическая мелодия упоминалась в качестве примера для понимания программирования двигательного акта. Используя сравнение с музыкантами, отвечающими за исполнение мелодии, мы ссылаемся на конкретного пианиста.

Если мы возьмем этого пианиста за образец, мы сможем представить, что клавиатура расположена на МР1, и что каждая из клавиш соответствует столбцу. Моторный акт и, особенно, его гармоничность будут зависеть от непрерывности, с которой музыкант играет на правильных клавишах.

Количество столбцов мышцы зависит не от ее размера, а от количества двигательных единиц, которые настраивают и регулируют ее нервно. Следовательно, чем выше тонкая координация этой мышцы, тем больше МР1 и больше количество столбцов (не путать с нейронными слоями, упомянутыми выше).

Рисунок 7: Пианист



Источник: самостоятельная разработка.

Когда говорят о качестве или гармонии движений, это будет зависеть от двух измерений, а именно: внутримышечной координации и межмышечной координации.

Продолжая пример с пианистом, мы можем определить их как:

- Внутримышечная координация: это способность пианиста набирать наибольшее количество столбцов, соответствующих мышце.

Согласно идеям Тоуса Фахардо (1999), внутримышечная координация - это способность задействовать двигательные единицы одной и той же мышцы, которая будет зависеть от следующих характеристик:

о Пространственный набор: относится к количеству задействованных волокон. Отсюда мышечное напряжение может увеличиваться или уменьшаться в зависимости от того, какая деятельность требует этого.

о Временное задействование: это связано с частотой, с которой активируются мышечные волокна. Напряжение мышц может варьироваться в зависимости от того, как часто задействуются волокна.

о Синхронизация двигательных единиц: «обычно двигательные единицы активируются асинхронно (так, чтобы движение было плавным), хотя кажется (как и у тяжелоатлетов), что при максимальном произвольном сокращении они делают это синхронно» (Фахардо, 1999, с. 47).

- Межмышечная координация: это способность пианиста передавать ноты в идеальной гармонии и в то же время избегать набора ненужных столбцов.

Таким образом, мы можем понять, что межмышечная координация - это способность активировать соответствующие мышечные волокна не только мышцы-агониста, но и ее синергистов. В свою очередь, необходимо, чтобы столбцы, соответствующие мышцам-антагонистам, не набирались, что ограничивает активность основных мышц, отвечающих за движение.

Очень важно, чтобы в различных группах мышц была хорошая последовательность и синхронизация, некоторые из которых активированы (агонисты или синергисты), а другие ингибируются (антагонисты).

Эти координирующие процессы будут зависеть от способности нервной системы к торможению или содействию, что связано с различными нервными рефлексам (Di Santo, 2015).

1.2.3 Обучение и моторный паразитоз. Улучшение моторики

Проксимальное обучение

Представьте, что пианист не набирает точные ноты, а вместо этого его палец направлен без начального навыка к клавишам, которые соответствуют другим мышцам.

Что происходит, так это то, что активируются несоответствующие столбцы. Это явление облучения и моторного паразитоза составляет большую часть нарушений двигательной активности.



Рисунок 8: Проксимальное обучение



Источник: самостоятельная разработка

Синкинезии имеют кортико-корковое объяснение:

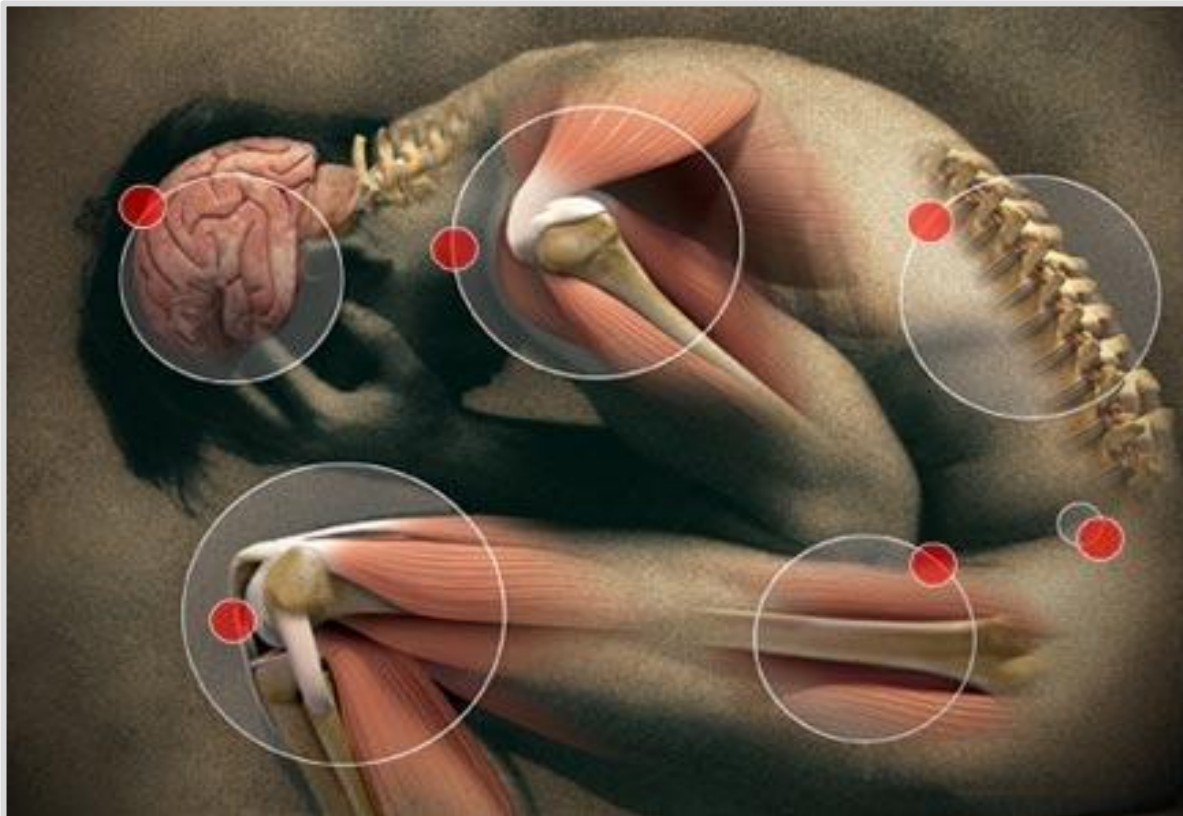
- а) Существуют паразитарные активации, генерируемые одним и тем же РМ1 при проксимальном облучении.
- б) Происходит активация несоответствующих секторов. Они иннервируют мышцы, которые должны оставаться неактивными.
- с) Они могут быть статическими или динамическими, что влияет на качество и экономичность исполнения.
- г) Как правило, синкинезии связаны с активацией антагонистов в неподходящее время и при неэффективных схемах лечения.

Синкинезии также связаны с травмами и феноменом «расточительства»:

- Они способствуют развитию дисфункциональных моделей движений, которые также называются аберрантными.
- Их также называют синдромами неправильных движений.
- Они способствуют травмам мио-сухожилий различного характера.
- Прежде всего, они способствуют значительным потерям энергии, которые могут ухудшить производительность.



Рисунки 9: Проксимальное обучение и синкинезия



Источник: [Изображение без названия проксимального сверхобучения и синкинезии]. (s. f. a). Получено с <https://lh3.googleusercontent.com/--IZNRQjMWD0/V50xfDYSeel/AAAAAAAAAMfy/6PVoCORpiTc/w1795-h1319/1.jpg>

Рисунки 10: Проксимальное обучение и синкинезия



Источник: [Изображение без названия проксимального облучения и синкинезии]. (s. f. b). Получено с <http://spinalphysio.kornberg.net/christie.jpg>

Их улучшение выражается в следующем:

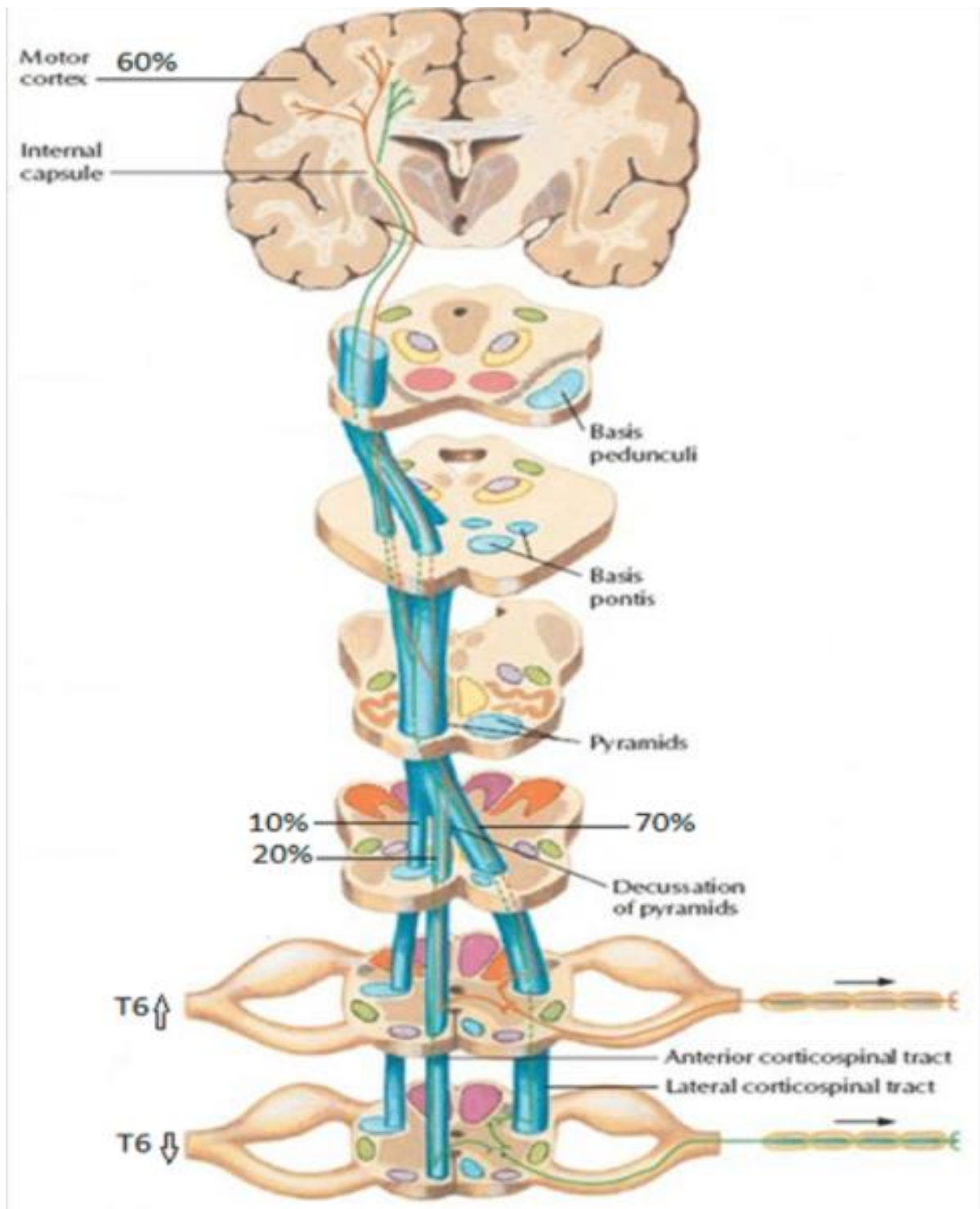
- Происходит постепенное устранение синкинезий, как статических, так и динамических, с точностью активации главных героев.
- Возможный механизм: пресинаптическое торможение до того, как нисходящие разряды достигнут тела гигантских пирамид в секторе ассоциации между СРМ и МР1, то есть до того, как эфферентные порядки достигнут МР1. Это может произойти в трактах самого МР1.
- Уточнение не только кортикальное, но включает в себя многочисленные процессы, которые выходят за рамки корково-корковой релевантности и затрагивают центральные и периферические сенсорные функции (Di Santo, 2015).

1.2.4 Кортикоспинальный тракт. Перекрестное обучение

Кортико-спинальная пирамидная система состоит из нервных волокон, которые проходят от коры головного мозга к передним рогам спинного мозга, где они синапсируются с мотонейронами. Функция кортикоспинального пути исключительно моторная. Большинство волокон идет из лобной коры (области 4 и 6), за ними следуют волокна из теменной коры (области 1, 2, 3, 5 и 7)



Рисунок 11: Кортикоспинальный путь



Источник: [Изображение без названия кортико-спинномозгового пути]. (s. f.). Взято из <https://1.bp.blogspot.com/-Zy2H0qxjTR0/Vw3ENrmbEUI/AAAAAAAAAUE/YeE0CUSGcvAqrIlgqWvWkEiBqd7nRapyugCLcB/s1600/imagen49.png>



Motor cortex	Моторная кора
internal capsule	внутренняя капсула
Basis penduculi	Основа маятника
basis pontis	базис понтис
pyramids	пирамиды
decussation of pyramids	перекрест пирамид
Anterior corticospinal tract	Передний кортикоспинальный тракт
Lateral corticospinal tract	Боковой кортикоспинальный тракт

Кортикоспинальный тракт берет свое начало в гигантских пирамидальных клетках Беца моторной коры. Нейроны моторной коры посылают свои аксоны к моторным ядрам черепных нервов, продолговатому мозгу и выпуклости, но большинство этих нервных структур спускаются к спинному мозгу.

Пирамидные клетки проецируют коллатерали в сторону красного ядра, базальных ганглиев, вентрального латерального ядра, ретикулярной формации и бульбарной оливы (Rigal, 1987). Эти тракты могут помочь оптимизировать моторный контроль, поскольку информация циркулирует по ним циклически, что необходимо для выполнения бессознательных движений. В свою очередь, руброспинальный тракт помогает пирамидному тракту - иногда он делает это, при необходимости покрывая свои задачи.

Чтобы представить эту тему, давайте выделим определенные понятия, которые могут привести к путанице:

- Перекрестное образование: это включает улучшение работоспособности нетренированной конечности в ответ на период односторонних упражнений на противоположной стороне.
- Межсторонний перенос: относится к двусторонней передаче двигательного навыка.
- Передача силы: это передача силы от нетренированной контралатеральной гомологичной мышцы к тренированной конечности.

Одно из первых сообщений о перекрестном обучении было в 1894 году, когда Эмили Браун нажала резиновую кнопку 10 раз в течение 13 дней только правой рукой. По прошествии последнего дня она повторно оценила свою силу в режиме максимального произвольного сокращения (MCV), но в её противоположной руке. Результат был ошеломляющим - сила её левой руки увеличилась на 43%! Феномен, при котором тренировка одной стороны тела увеличивает силу другой половины, известен как



контралатеральная силовая тренировка или перекрестная тренировка. Перекрестное обучение может включать в себя передачу мышечной силы на нетренированную противоположную мышцу после периода односторонней тренировки и передачу обучающихся моторных навыков нетренированным мышцам. (Чжоу, 2000)

Влияние перекрестного обучения на силу

Несколько исследований подтверждают передачу силы от тренированной конечности к ее нетренированному контралатеральному аналогу после максимальных изометрических сокращений. Манн, Герберт и Гандевия (2004) провели метаанализ 17 исследований, из которых они обнаружили, что увеличение силы в среднем составляет 7,8% по сравнению с исходной силой в противоположной конечности. Увеличение реально, хотя в некоторых случаях исследователи утверждают, что при перекрестном обучении уменьшение силы может быть ослаблено или увеличено при иммобилизации конечности. В большинстве статей по кросс-силовому обучению морфологических изменений (гипертрофии) нетренированной конечности не наблюдается.

Рисунок 12: Перекрестное обучение



Источник: самостоятельная разработка

Что касается односторонних действий и перекрестного обучения, было изучено на нижних конечностях (ММII), что во время двустороннего выполнения происходит большая активация мышц по сравнению с односторонними сокращениями (Behm, 2003). Двустороннее облегчение активации может быть связано с усилением возбуждающих рефлексов с более сильными надспинальными нисходящими сигналами или более сильным торможением.



Эффект перекрестного обучения может зависеть от направления переноса. Исследование Фартинга (2005) было первым, в котором изучалось влияние направления переноса на тренировку кросс-силовых упражнений. Самым важным открытием было то, что этот эффект проявлялся только после тренировки доминирующей руки у правшей, а также что не было значительных изменений силы от левой недоминантной руки к доминирующей. Один из возможных механизмов заключается в том, что одна конечность более компетентна в освоении или обучении новой двигательной задаче, чем другая, и, следовательно, может быть передано больше информации. Таким образом, наибольшая передача наблюдается только от доминирующей конечности к недоминантной. (Фартинг, 2010)

Сложность или знакомство с задачей является определяющим фактором для кросс-тренинга силовых и моторных навыков. Если задача неизвестна обеим конечностям, передача силы, вероятно, произойдет в любом направлении.

Как именно адаптация, поддерживающая изменения, происходит на противоположной стороне во время тренировки?

Уровни адаптации:

- Кортикальный.
 - Подкорковый.
 - Спускающиеся дороги.
 - Медуллярный.
- **Мышечный.**



Рисунок 13: Перекрестная связь



Источник: самодельный.

Другие концепции кросс-подключения

Транскаллозальная связь

Термин моторное облучение описывает двустороннюю корково-спинальную активность, возникающую при одностороннем движении. Мозолистое тело, соединяющее оба полушария, может вносить свой вклад в этот процесс. Горизонтальные моторные связи между правым и левым полушариями первичной моторной коры могут передавать возбуждающую и тормозную активность и тем самым регулировать активность моторной коры.

Кортикоспинальная связь

Кортикоспинальные волокна проходят через внутреннюю капсулу к вентральной части среднего мозга. Около трех четвертей распадаются, а остальные, не пересекаясь, опускаются вниз и образуют вентральные кортикоспинальные тракты. Эти волокна (хотя их и небольшое количество) представляют собой достаточное представление центральных двигательных импульсов, которые остаются ипсилатеральными стимулами и могут опосредовать активацию конечности, не выполняющей упражнения.

Влияние перекрестного обучения на другие механизмы

Мышечные механизмы



Они включают изменения в мышечной массе, концентрации мышечных ферментов, гормональные изменения и модификации в составе сократительных белков. Однако научные исследования показывают, что эти периферические адаптации маловероятны при кросс-тренинге (Carrol, 2001).

Спинальные механизмы

Несмотря на то, что в спинном мозге существует сложная сеть нейронных цепей, нет никаких доказательств в пользу изменений в позвоночнике, происходящих в нетренированном полушарии. Хотя вариации в H-рефлексе не обнаружены, давайте вспомним, что существует нейроанатомическая связь через комиссуральные интернейроны, которые пересекают среднюю линию, чтобы тормозить или возбуждать. Но еще не было продемонстрировано, что эти механизмы вносят вклад в перекрестное обучение.

Корковые механизмы

Большинство исследований сходятся во мнении, что передача навыков является ответом на двигательное обучение, контролируемое корковой адаптацией. Моторное обучение было связано с пластичностью мозга, включая области первичной моторной коры, премоторной и дополнительной моторной области.

Нервные адаптации обусловлены тем фактом, что передача поперечной силы происходит в отсутствие гипертрофии. Изменения происходят в мозговой активации как корковых полушарий, так и соматосенсорной коры, кросс-тренинг контролируется корковой адаптацией, и M1 играет фундаментальную роль.



Рисунок 14: Возможные приложения для перекрестного обучения



Лечебная гимнастика

Возможность проработать здоровую конечность для передачи силы или способностей своему двойнику.
Парестезии, спастичность или гемиплегия.



Реабилитация

Столкнулся с иммобилизацией или односторонними травмами.
Возможность уменьшения потери силы.
Отдыхать?



ВИДЫ СПОРТА

Приобретение моторики.
Передача обучения.

Источник: самостоятельная разработка

Ссылки

Бем Д.Г., Пауэр К.Э., Дринкуотер Э.Дж. (2003). Активация мышц усиливается за счет много- и односуставных двусторонних сокращений по сравнению с односторонними. Собака. J. Appl. Physiol. 28 (1): 38-52 Аннотация

Кэррол, Т. Дж.; Riek, S.; Карсон, Р.; G. Нейронная адаптация к силовой тренировке. Значение для управления движением. Sports Med Vol. 31. № 12. с. 829-840. 2001 г.

Ди Санто, М. (2011). Диапазон движения. Кордова: Paidotribo.

Ди Санто, М. (2015). Влияние Антонио Дамасио [Запись Н. Акоста]. Кордова, Аргентина.

Ди Санто, М. (2015). Центральное воздействие [Запись Н. Акоста]. Кордова, Аргентина.

Ди Санто, М. (2015). Изображение движения [Запись Н. Акоста]. Кордова, Аргентина.



- Ди Санто, М. (2015). Мыслить в движении [Запись Н. Акоста]. Кордова, Аргентина.
- Ди Санто, М. (2015). Нейромоторное программирование [Запись Н. Акоста]. Кордова, Аргентина.
- Ди Санто, М. (2015). Нейромоторное программирование [Запись Н. Акоста]. Кордова, Аргентина.
- Ди Санто, М. (14 октября 2015 г.). Принятие решений и двигательная логика [Запись Н. Акоста]. Кордова, Аргентина.
- Фахардо, Дж. Т. (1999). Новые тенденции в силе и бодибилдинге Барселона: Ergo.
- Гайтон, К. А. (2006). Трактат по медицинской физиологии (11-е изд.) Барселона: Elsevier.
- Гайтон, К., и Холл, Дж. (2006). Договор медицинской физиологии. Барселона: Эльзевьер.
- [Изображение без названия на площадях Бродмана]. (s. f.). Получено с <http://www.facmed.unam.mx/Libro-NeuroFisio/10-Sistema%20Motor/10a-Movimiento/FigsCerebro/Brodmann-01.gif>.
- [Без названия изображение слоев коры головного мозга]. (2015, 31 июля). Получено с <https://image.slidesharecdn.com/corteza-cerebral-1225335354159428-8/95/corteza-cerebral-17-728.jpg?cb=1236975568>.
- [Изображение без названия о моторном гомункуле и сенсорном гомункуле]. (s. f.). Получено с http://wm0376057.webmaker.es/.cm4all/iprocc.php/Imagenes/homunculo.jpg/downsize_1280_0/homunculo.jpg.
- [Изображение без названия проксимального облучения и синкинезии]. (s. f. a). Получено с <https://lh3.googleusercontent.com/--IZNRQjMWD0/VSoxfDYSeel/AAAAAAAAAMfY/6PVoCORpjTc/w1795-h1319/1.jpg>
- [Изображение без названия проксимального облучения и синкинезии]. (s. f. b). Получено с <http://spinalphysio.kornberg.net/christie.jpg>
- [Изображение без названия о программировании двигателя]. (s. f.). Получено с https://nathaliab.files.wordpress.com/2009/11/funciones_cerebro.gif
- [Изображение без названия на корково-спинномозговом пути]. (s. f.). Получено с <https://1.bp.blogspot.com/-Zy2H0qxjTR0/Vw3ENrmbEUI/AAAAAAAAAUE/YeE0CUSGcvAqrlgqWvWkEiBqd7nRapyugCLcB/s1600/imagen49.png>.
- Лойбер, И. (1988). Двигательные функции нервной системы. Кордова: Доктор.
- Лурия, А. (1973). Рабочий мозг и введение в нейропсихологию (собственный перевод). Лондон: Penguin Books.



Манн, Дж., Герберт. Р. Д. и Гандевия С. С. (1 мая 2004 г.). Контралатеральные эффекты односторонних силовых тренировок: метаанализ. Журнал прикладной физиологии, 96 (5), 1861-1866. Получено с <http://jap.physiology.org/content/96/5/1861>.

Ноймайер, А. (2002). Техника обучения. Барселона: Пайдотрибо.

Ригал Р. (1987). Моторные навыки человека. Мадрид: Пила Теленья.

Снелл, Р. (1999). Клиническая нейроанатомия (4-е изд.). Буэнос-Айрес: Панамериканский.

Таморри, С. (2004). Неврология и спорт. Барселона: Пайдотрибо.

Таморри, С. (2004). Неврология и спорт. Спортивная психология. Психические процессы спортсмена. Барселона: Пайдотрибо.

Унам (S. F.). Получено с <http://www.facmed.unam.mx/Libro-NeuroFisio/10-Sistema%20Motor/10a-movimiento/FigsCerebro/Brodmann-01.gif>.

Чжоу, А. (2000). Кросс-тренинг: возможность поддерживать форму при односторонних травмах. Киберспорт, 15.

