

Физиология двигательных систем

Общие принципы управления движениями

Классификация движений

Движения можно очень условно подразделить на:

- **позные** (сохранение позы; перемена позы; удержание позы при внешних воздействиях, например при резком торможении в поезде) и **локомоторные** (передвижения в пространстве, движения конечностей). Позные движения осуществляются постоянно (даже во сне человек принимает определенную позу), и любое локомоторное движение осуществляется на фоне позных;
- **стереотипные** и **нестереотипные**. Первые представляют собой врожденные программы, которые затем совершенствуются (стояние, ходьба), вторые преимущественно приобретенные и индивидуальные (игра на фортепиано). Позные движения в значительной степени стереотипны, локомоторные — наоборот.

Принципы организации двигательных систем

Иерархическая организация

Движения высших животных слишком сложны, чтобы они могли осуществляться одним отделом ЦНС. В связи с этим система управления движениями представляет собой распределенную систему, организованную по иерархическому принципу (рис. 5.1). Суть этой организации заключается в следующем.

1. Система состоит из трех уровней управления: 1) кора головного мозга; 2) ствол мозга; 3) спинной мозг.

2. Чем ниже уровень, тем более простые программы управления движениями в нем заложены. В спинном мозге заложены программы *элементов* основных движений. В стволе мозга заложены программы отдельных *цельных движений*. В коре головного мозга заложены программы сложных *поведенческих актов*.

3. Управление низшими центрами со стороны высших состоит в том, что при выполнении какого-либо движения высшие центры включают готовые программы, заложенные в низших центрах, и формируют из этих простых программ более сложные.

Рассмотрим работу этой системы на примере ходьбы (рис. 5.2). В нейронных контурах *спинного мозга* заложены такие элементы этого движения, как шага-

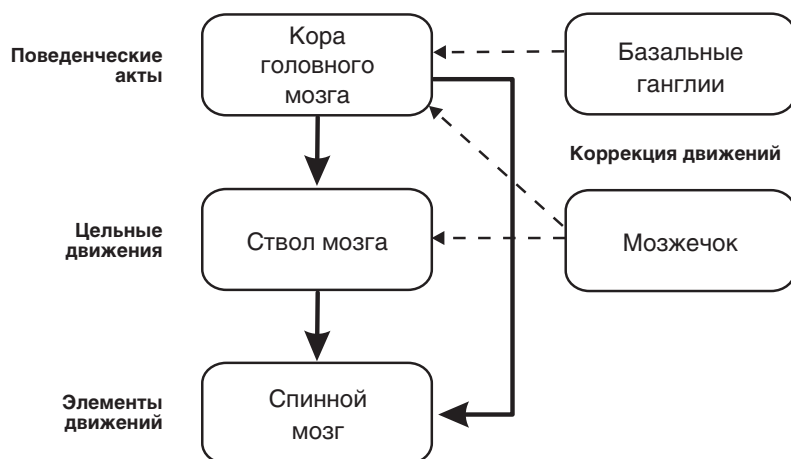


Рисунок 5.1. Иерархическая система управления движениями. Жирные линии — прямые влияния, тонкие пунктирные линии — корректирующие влияния.

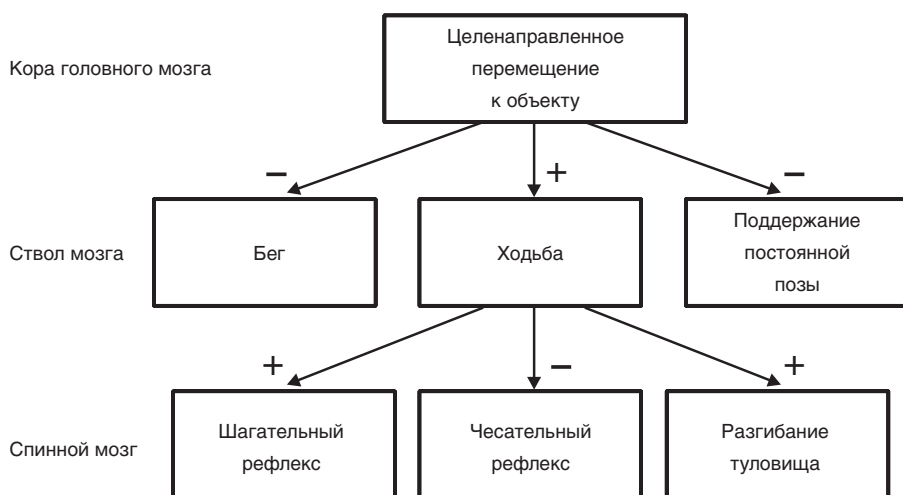


Рисунок 5.2. Иерархическое управление в двигательных системах на примере целенаправленной ходьбы. Ствол мозга активирует заложенные в спинном мозге элементы ходьбы (шагательный рефлекс, разгибание туловища и др.), собирая из них программу ходьбы; прочие рефлексy (например, чесательный) при этом тормозятся. Кора головного мозга активирует эту стволовую программу ходьбы, подавляя при этом программы бега и др. (+) — активация; (–) — торможение.

тельный рефлекс (одновременное сгибание одной конечности и разгибание противоположной, затем наоборот). *Ствол мозга* активирует этот и другие элементы, собирая из них программу ходьбы, включающей координированные движения всеми четырьмя конечностями, поддержание туловища и шеи в разогнутом состоянии и т. п.; при этом прочие рефлексy, например чесательный, тормозятся. Наконец, *кора головного мозга* включает заложенную в стволе мозга

программу ходьбы в нужное время и в нужном направлении, подавляя при этом программы бега и др. Таким образом, спинной мозг непосредственно управляет мышцами, ствол мозга управляет нейронными контурами спинного мозга, а кора головного мозга — центрами ствола мозга.

С такой организацией системы управления движениями связаны два важных термина — **сегментарный и надсегментарный отделы ЦНС**. Сегментарным называют отдел, непосредственно управляющий мышцами (и внутренними органами), а надсегментарным — управляющий программами, заложенными в сегментарных отделах. Каждый центр сегментарного отдела управляет мышцами в пределах одного сегмента, а центры надсегментарных отделов объединяют несколько сегментарных программ в единое движение. Спинной мозг является преимущественно сегментарным отделом (хотя благодаря собственным путям, соединяющим его сегменты, в нем имеются и отдельные надсегментарные программы — например, шагательный рефлекс; см. ниже). Ствол мозга — смешанный отдел: с одной стороны, в нем заложены типичные надсегментарные программы цельных движений, с другой стороны, за счет ядер черепных нервов он иннервирует отдельные мышцы и органы по сегментарному принципу. Что же касается коры головного мозга и других высших центров, то они представляют собой типичные надсегментарные отделы.

Дополнительное прямое управление

Описанная выше трехуровневая магистраль обеспечивает основные, но лишь стереотипные, в основном врожденные и преимущественно позные движения. Действительно, только программы таких движений могут быть заложены в ядрах ствола мозга. Что же касается более сложных, нестереотипных приобретенных движений, то для их выполнения кора головного мозга должна непосредственно управлять спинным мозгом. Для этого существует прямой путь от коры головного мозга к спинному мозгу — **кортикоспинальный, или пирамидный путь**¹.

В связи с особой функцией пирамидного пути ранее его выделяли в особую пирамидную систему, а все остальные двигательные пути вместе с базальными ядрами объединяли под названием «экстрапирамидная система». Считалось, что пирамидная система отвечает за произвольные, а экстрапирамидная — за «автоматические» движения. Однако в дальнейшем выяснилось, что пирамидный путь отвечает не за все произвольные, а только за тонкие приобретенные движения, в основном рук и речевого аппарата; многие произвольные стереотипные движения, как и следовало ожидать, запускаются корой через пути, идущие к надсегментарным двигательным ядрам ствола. В связи с этим, а также многими другими соображениями, термин «экстрапирамидная система» постепенно размывается и применяется только для описания определенных клинических состояний.

Системы коррекции

Управление такими сложнейшими процессами, как движения, невозможно без систем, обеспечивающих уточнение и коррекцию управляющих программ. Роль этих систем играют **мозжечок и базальные ядра**. Сами по себе они не вызывают никаких движений (например, при электрическом раздражении), но уточняют все движения перед их началом или в ходе выполнения.

¹ К пирамидному пути относятся не только кортикоспинальный, но и кортикобульбарные пути, идущие от коры головного мозга к двигательным ядрам черепных нервов: как уже говорилось, эти ядра иннервируют мышцы по сегментарному принципу и потому аналогичны центрам спинного мозга.

Обратная связь

Для управления движениями необходимо постоянно получать обратную связь — информацию о том, как эти движения выполняются. Важнейшие виды чувствительности, обеспечивающие обратную связь, следующие:

- **проприоцептивная** (импульсация от мышц и суставов, несущая информацию о положении и направлении движений конечностей, силе и скорости сокращения мышц и т. п.);
- **вестибулярная** (импульсация от вестибулярного аппарата, несущая информацию о положении и движении головы в поле тяжести Земли).

Остальные виды чувствительности (прежде всего — зрительная) играют важную, но дополнительную роль.

Спинной мозг

Основы анатомии

Спинной мозг состоит из **сегментов** (сегмент спинного мозга — участок спинного мозга, дающий начало одной паре спинномозговых нервов и иннервирующий определенный участок тела). Сегменты, в свою очередь, объединяются в **отделы**: шейный (8 сегментов), грудной (12 сегментов), поясничный (5 сегментов), крестцовый (5 сегментов) и копчиковый (1—3 сегмента).

Основные компоненты спинного мозга — **серое и белое вещество**. Серое вещество представлено телами нейронов, белое — проводящими путями. На разрезе спинного мозга выделяют следующие основные структуры (рис. 5.3):

- в сером веществе — **передние, боковые** (имеются только на уровне от VIII шейного до III поясничного сегментов) и **задние рога**. В задние рога входят **задние корешки**, из передних рогов выходят **передние корешки**. Задние корешки начинаются от **спинномозговых ганглиев**. Передние рога и корешки являются двигательными, задние — чувствительными;
- в белом веществе — передние, боковые и задние **канатики**.

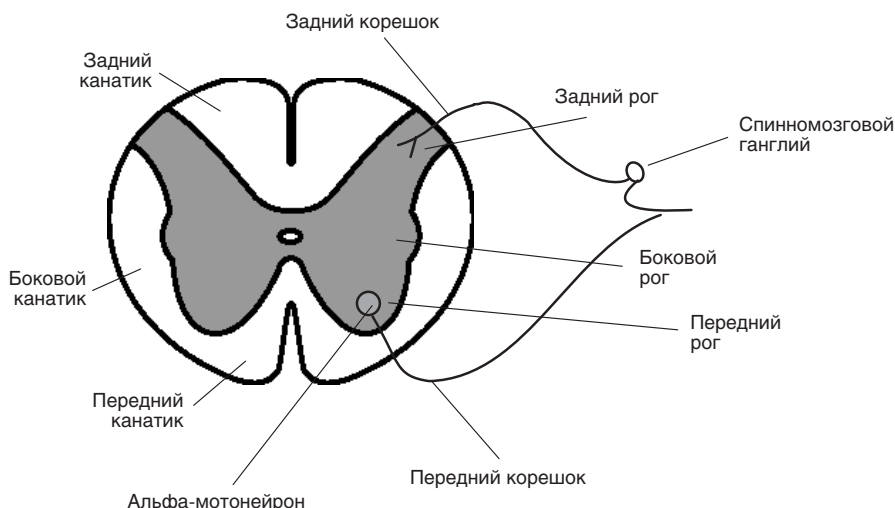


Рисунок 5.3. Поперечный срез спинного мозга.