

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ИВАНОВСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ МЕДИЦИНСКАЯ АКАДЕМИЯ»
МИНИСТЕРСТВА ЗДРАВООХРАНЕНИЯ И СОЦИАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Кафедра нормальной физиологии

НОРМАЛЬНАЯ ФИЗИОЛОГИЯ В ВОПРОСАХ И ОТВЕТАХ

**ФИЗИОЛОГИЯ ДВИЖЕНИЯ. УПРАВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЕМ.
МЕХАНИЗМЫ ПОДДЕРЖАНИЯ ТОНУСА СКЕЛЕТНЫХ МЫШЦ
И РАВНОВЕСИЯ ТЕЛА**

Учебно-методические разработки
для иностранных студентов

Иваново 2007

Составители: А.Н.Булыгин
И.Г.Колодина
С.Б.Назаров

Научный редактор – зав. кафедрой нормальной физиологии ГОУ ВПО ИвГМА Минздравсоцразвития России, доктор медицинских наук, профессор **С.Б.Назаров**

Это шестой выпуск учебно-методических разработок, составленных сотрудниками кафедры для иностранных студентов 2 курса, изучающих курс нормальной физиологии. Круг рассматриваемых вопросов полностью соответствует учебной программе по нормальной физиологии для студентов высших медицинских учебных заведений (Москва, 1996). В данных разработках мы рассматриваем вопросы, касающиеся физиологии движения, управления движением и раскрывающие механизмы поддержания тонуса скелетных мышц и равновесия тела.

В ответах на вопросы использованы как основные учебные пособия для студентов, сведения из лекционного материала, так и дополнительная литература последних лет, недоступная широкому кругу студентов.

Авторы с вниманием и благодарностью рассмотрят все критические замечания по поводу структуры и содержания данных учебно-методических разработок.

Рецензент:
Заведующая кафедрой
неврологии и нейрохирургии
ГОУ ВПО ИвГМА Минздравсоцразвития России,
д. м. н., профессор

Л.И.Краснощекова

Физиология движения. Управление движением. Механизмы поддержания тонуса скелетных мышц и равновесия тела

1. Что называется движением? Какова его биологическая роль?

Движение – это перемещение тела или отдельных его частей в пространстве. Оно сопровождает всю жизнь человека, начиная с антенатального периода развития. С движением связана вся его трудовая деятельность, движение необходимо в быту и во время отдыха. От развития двигательной системы зависит:

- правильное развитие скелета;
- состояние других физиологических систем (сердечно-сосудистой, дыхательной, выделительной и др.);
- уровень обмена веществ;
- психоэмоциональное состояние человека.

Поэтому состояние двигательной системы является одним из наиболее важных показателей нормального физического развития человека, особенно в детском возрасте.

2. Что входит в понятие «двигательная система» и что является ее основным рабочим элементом?

В понятие «*двигательная система*» входит опорно-двигательный аппарат и соматический отдел нервной системы, постоянно контролирующей состояние скелетных мышц. Любая скелетная мышца при своем сокращении развивает определенную силу (абсолютную, относительную), мощность, совершает работу.

Таким образом, *скелетная мышца является основным элементом двигательной системы*, которая собственно и реализует двигательные функции.

3. Назовите основные двигательные функции?

Различают две основные двигательные функции:

- собственно движения тела и его частей – иначе *фазная* (или *фазическая*) активность, она обеспечивается в основном быстрыми моторными единицами;
- поддержание позы тела – *тоническая* активность, осуществляется преимущественно медленными моторными единицами.

4. Что относится к собственно движениям?

К собственно движениям относятся:

- *элементарные движения*, то есть сокращения и расслабления *одной (!) какой-либо мышцы* при активации мотонейронного пула или раздражении двигательного нерва;
- *двигательные акты*, представляющие собой *функциональные системы* * бóльшей или меньшей степени сложности, которые включают, как составную часть, элементарные движения. В реализации двигательных

актов участвуют несколько мышц. В зависимости от сложности выделяют несколько категорий двигательных актов.

5. Перечислите категории двигательных актов?

Выделяют 5 таких категорий:

1. **Рефлекторные движения** – это самые различные двигательные *безусловные* (например, защитный рефлекс на болевое раздражение) и *условные* (например, двигательная реакция собаки при приближении хозяина, или перед кормлением) рефлексы.

2. **Запрограммированные двигательные акты** – могут быть *врожденными* (часто носят циклический характер – чесание, дыхание, ходьба) и *приобретенными* (различные двигательные навыки, возникшие в результате длительного научения – гимнастические или другие спортивные упражнения, работа с клавиатурой компьютера, игра на музыкальных инструментах и многое другое).

3. **Произвольные и произвольные движения.** Произвольные движения осуществляются под контролем нашего сознания, произвольные – не контролируются сознанием. Граница между произвольными и произвольными движениями очень условна, так как-то, что одному кажется произвольным движением, на самом деле является произвольным и наоборот. Например, у большинства людей вид змеи, крысы, погибшего животного вызывает гримасу и реакцию отвращения (казалось бы, произвольную!), но эта реакция при желании может быть подавлена – значит, она произвольная!

4. **Целенаправленные движения** преследуют цель – достижение какого-то вполне определенного полезного результата, например, первым прийти на финиш на соревновании по бегу, или перепрыгнуть через препятствие.

5. **Позные движения** – это движения, связанные с активным изменением или созданием определенной позы.

6. Что общего в организации и реализации всех двигательных актов?

В организации всех двигательных актов выделяются **стратегия** и **тактика**.

Стратегия двигательного акта определяется конкретной биологической или социальной **потребностью**, которая имеется в данный момент у человека. Потребность – это термин из психологии, обозначающий неудовлетворенность человека чем-либо, которая толкает его на ту или иную деятельность. Различают *биологические* (например, неудовлетворенность качеством или количеством пищи), *социальные* (например, неудовлетворенность жилищными условиями) и *духовные* (неудовлетворенность качеством телевизионных передач, игрой артистов в театре или кинофильме и др.) потребности.

* Функциональная система – *динамическая, саморегулирующаяся* организация, все компоненты которой взаимодействуют и обеспечивают получение *полезного результата* (см. раздел «Системный принцип регуляции» в учебнике по нормальной физиологии)

В физиологии известен термин **мотивация** – избирательная готовность организма к реализации той или иной потребности (см. раздел «Высшая нервная деятельность» в учебнике по нормальной физиологии). Выделяют понятие **доминирующая мотивация**, то есть та мотивация, благодаря которой реализуется главная на данный момент потребность человека. В структуре целостного поведенческого акта (см. раздел «Функциональная система целостного поведенческого акта» в учебнике по нормальной физиологии) доминирующая мотивация является основной составляющей **аппарата афферентного синтеза**, на базе которого формируется **акцентор результата действия (АРД)**. Именно в АРД заложена стратегия двигательного акта, то есть идеальная модель конечного, **полезного результата**.

Таким образом, стратегия двигательного акта обеспечивается потребностями и мотивациями, изучаемыми двумя смежными науками психологией и физиологией. На стыке этих двух наук сформировалась наука **психофизиология**, которая, в частности, изучает вопросы, связанные со стратегией двигательного акта.

Тактика двигательного акта – это выбор конкретного пути достижения поставленной цели. Например, для удовлетворения потребности в пище можно открыть холодильник и приготовить себе яичницу или сварить пельмени, взяв их из морозильника; или можно поесть жареной рыбы, но тогда надо одеваться и идти в магазин или на рынок. Каждый раз этот вопрос решается по-разному, исходя из чувства голода или конкретных бытовых или материальных условий.

Тактика двигательного акта определяется двумя основными принципами:

- **прямого программирования;**
- **сенсорных коррекций.**

7. В чем заключается смысл принципа прямого программирования?

Смысл принципа **прямого программирования** заключается в том, что на различных этажах центральной нервной системы имеются готовые **врожденные** и **приобретенные** моторные программы. Эти программы обеспечивают закономерное одновременное или последовательное возбуждение и торможение тех или иных мотонейронных пулов, а значит, включение в работу тех или иных мышечных групп, скоординированное сокращение которых приводит к какому-то строго определенному движению, направленному на реализацию той или иной целевой установки.

Включение моторных программ может происходить рефлекторно, произвольно и произвольно в зависимости от места их локализации и степени сложности.

Впервые о существовании подобных программ в спинном мозге высказался Ч. Шеррингтон (1898), сформулировав принцип общего конечного пути. Более того, Ч. Шеррингтон считал, что в организме человека и животных постоянно идет борьба за **общий конечный путь**, так как одни и те же мотонейроны, мотонейронные пулы включаются для реализации самых разных биологических и социальных потребностей.

8. Где сосредоточены врожденные моторные программы? Каково их биологическое значение?

Врожденные моторные программы имеются практически на всех этапах ЦНС (рис.1).

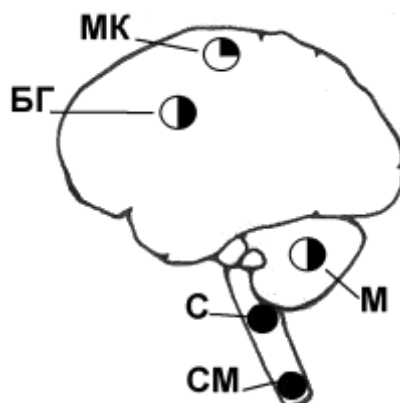


Рис. 1. Локализация врожденных (■) и приобретенных (□) моторных программ
МК – моторная кора; БГ – базальные ганглии; М – мозжечок; С – ствол мозга; СМ – спинной мозг

На уровне *спинного мозга* сосредоточены самые простые программы, значительная часть которых формируется задолго до рождения (например, рефлекс чесания, акт ходьбы и др.).

На уровне *ствола мозга* сформированы более сложные моторные программы, имеющие жизненно важное значение (они обеспечивают процесс внешнего дыхания, координацию дыхания и глотания, сосания и глотания, сложные кашлевые рефлекссы, и др.).

Еще более сложные моторные программы сосредоточены в *мозжечке* и *базальных ганглиях*. Эти программы имеют тесную связь с врожденными формами поведения, а лучше сказать, являются частью их (например, комплекс двигательных актов при эмоциональном возбуждении, оборонительных реакциях, половом поведении и др.).

Врожденные программы есть и в *передней центральной извилине* (двигательная кора), но здесь значительно бóльший удельный вес приобретенных моторных программ.

9. Где сосредоточены приобретенные моторные программы? Каково их биологическое значение?

Приобретенные моторные программы не носят видовой характер. Они индивидуальны, формируются в течение жизни и используются по мере необходимости. Если они используются часто, то их качество и скорость реализации со временем улучшаются. Однако если программы используются редко или не используются вообще в течение длительного времени, то они подвергаются частичному или полному разрушению. Примером таких программ могут быть те, которые обеспечивают двигательные навыки, приобретенные при систематических занятиях спортивными упражнениями, при игре на музыкальных инструментах, при работе на клавиатуре компьютера и многое другое.

Подобные программы сосредоточены не в спинном мозге и не в стволе мозга (рис.1), а в мозжечке (особенно в латеральной его зоне) и в базальных ганглиях. Здесь приобретенные моторные программы интегрируются с врожденными, что способствует более качественному совершению двигательных актов.

Например, известно, что у каждого человека количественное соотношение между быстрыми и медленными нейромоторными единицами обусловлено генетически. Значит, и врожденные моторные программы, контролирующие работу этих моторных единиц, сформированы по-разному. В спортивной медицине от этого, в частности, зависит, сможет ли конкретный спортсмен добиться (в принципе!) высоких результатов. Так, например, спринтеру в большей мере нужны быстрые моторные единицы, а спортсмену тяжелоатлету – медленные. Успех спортсмена будет зависеть уже только от качества тренировки, то есть от приобретенных моторных программ.

10. Как включаются врожденные и приобретенные программы?

Включение моторных программ осуществляют нейроны двух типов:

- ***триггеры;***
- ***воротные.***

Нейроны-триггеры запускают моторную программу и сразу прекращают свою активность, то есть далее программа работает без коррекций. Так, например, реализуются заученные действия (ходьба по ровной дороге, когда нет никаких препятствий или профессиональная игра на музыкальных инструментах и др.).

Воротные нейроны участвуют и в запуске программы и сохраняют активность в течение всего периода времени ее реализации. Они корректируют ход выполнения моторной программы в связи с получением обратной информации о характере выполнения двигательного акта, то есть участвуют в реализации ***принципа сенсорных коррекций.***

11. В чем заключается смысл принципа сенсорных коррекций?

Смысл принципа сенсорных коррекций заключается в том, что на всех этапах двигательного акта в центральную нервную систему поступает информация как с ***проприорецепторов*** (они расположены в мышцах, сухожилиях, связках, суставах), так и с ***экстерорецепторов*** (в основном со зрительных). Эта ***обратная афферентация*** информирует мозг о процессе выполнения и степени завершения движения, то есть о результатах произведенного двигательного акта.

Впервые о роли сенсорной информации в организации движения высказался Ч. Шеррингтон (1898). Он обратил внимание на то, что после перерезки задних корешков спинного мозга у животных резко нарушается координация движений. Он ввел в физиологию понятие «проприорецепторы» для обозначения чувствительных нервных окончаний, находящихся в мышцах, связках и сухожилиях, от которых идет информация в ЦНС о характере двигательного акта.

Клинические наблюдения над больными с поражением задних столбов спинного мозга показали, что характер движения таких пациентов резко ме-

няется. В контроле за процессом движения резко возрастает роль зрительного анализатора, и если человек закрывает глаза (см. вопрос 63 – *поза Ромберга*), то теряет способность поддерживать равновесие, как в покое, так и при движении (см. вопрос 58 – *астазия, абазия*).

И.П.Павлов понимал важность афферентной информации в организации движения. Разработав учение об анализаторах, он в 1909 году ввел понятие ***двигательный анализатор***, представляющий собой систему нейронов, связывающую опорно-двигательный аппарат с сенсорной корой.

Н.А. Бернштейн, посвятивший всю свою жизнь исследованию движений, писал: «Движение не может быть предрешено центральными структурами», подразумевая под этим, что не только моторные программы организуют двигательные акты. Он подчеркивал важность афферентной информации, постоянно поступающей в центральную нервную систему с рецепторов опорно-двигательного аппарата и характеризующей динамику процесса движения на всех его этапах.

12. С каких рецепторов опорно-двигательного аппарата поступают «сенсорные коррекции» в ЦНС?

Сенсорная информация о характере движения поступает с различных *проприорецепторов*, дающих разнообразную информацию о состоянии каждого элемента опорно-двигательного аппарата:

- *с мышечного веретена* – о степени растяжения мышцы;
- *с сухожильных рецепторов Гольджи* – о степени укорочения мышцы;
- *с суставных рецепторов* – о положении костей, образующих сустав.

Среди проприорецепторов наиболее хорошо изучены мышечные веретена и сухожильные рецепторы Гольджи (подробнее о работе этих рецепторов читайте в учебнике по гистологии).

13. Что называется интрафузальным волокном? Какова его роль?

В составе мышцы, как органа, находятся ***экстрафузальные*** и ***интрафузальные волокна***. Экстрафузальные волокна более толстые (50-150 мкм), тянутся по длине мышцы от сухожилия до сухожилия. При сокращении экстрафузальных волокон мышца развивает ту или иную силу и мощность и выполняет определенную работу.

Интрафузальных волокон меньше, чем экстрафузальных (в среднем 30-40%). Они значительно тоньше (15-30 мкм) и короче (4-7 мм) экстрафузальных. Интрафузальные волокна заключены в соединительно-тканную капсулу, образуя мышечное веретено (рис. 2). Одним своим концом оно при помощи полосок соединительной ткани прикрепляется к сухожилию мышцы, а другим – к перимизию пучка экстрафузальных волокон. Такая связь позволяет интрафузальным волокнам растягиваться вслед за экстрафузальными (например, при расслаблении мышцы). Поэтому мышечные веретена называют ***рецепторами растяжения***.

У интрафузальных волокон (соответственно и в мышечном веретене) различают *центральную* и *периферические* части. В центральной части воло-

кон находится скопление ядер, и практически отсутствуют сократительные структуры. В зависимости от особенностей расположения ядер выделяют волокна с ядерной сумкой и волокна с ядерной цепочкой (рис. 2). Периферические части, наоборот – представлены сократительными элементами.

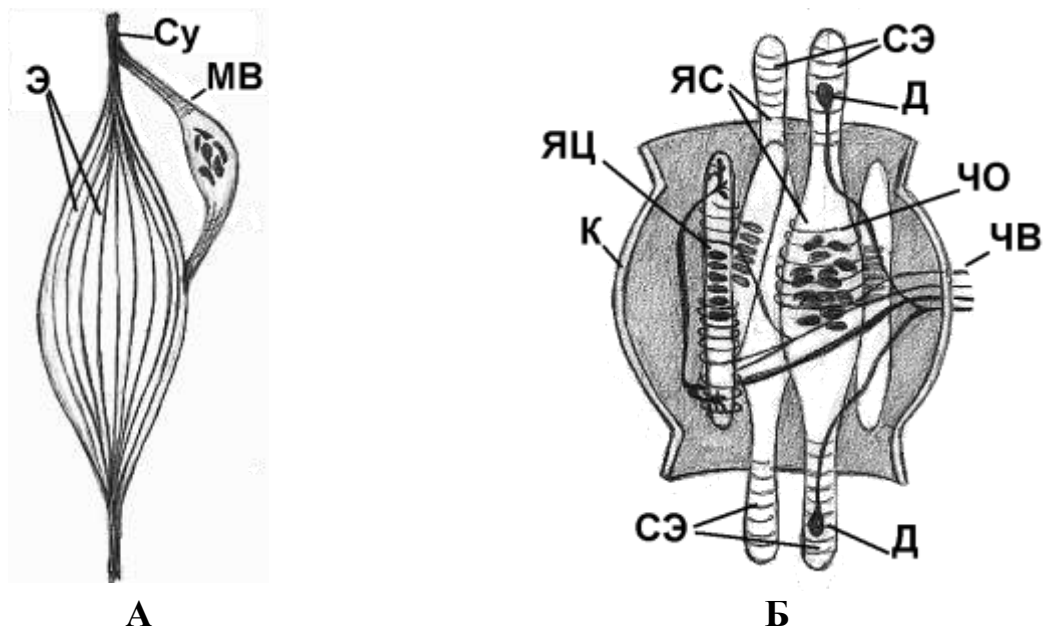


Рис. 2. Мышечное веретено

А – прикрепление мышечного веретена; Б – строение мышечного веретена

Э – экстрафузальные волокна; МВ – мышечное веретено; Су – сухожилие; К – капсула; ЯС – интрафузальное волокно с ядерной сумкой; ЯЦ – интрафузальное волокно с ядерной цепочкой; СЭ – сократительные элементы; ЧО – чувствительные окончания мышечного веретена; ЧВ – чувствительные волокна; Д – синапсы γ -мотонейронов

К каждому мышечному веретену подходит *афферентное волокно*, которое ветвится, образуя несколько чувствительных окончаний, называемых **чувствительными окончаниями мышечных веретен**. Они несколько раз спиралевидно обвиваются вокруг *центральной части* интрафузальных волокон. Адекватным раздражителем для этих рецепторов является *растяжение центральной части мышечного веретена*.

Кроме чувствительной иннервации у интрафузальных волокон есть и двигательная. Она осуществляется аксонами *γ -мотонейронов*, подходящих к сократительным элементам этих волокон. При возбуждении γ -мотонейронов происходит сокращение периферических частей интрафузальных волокон.

Таким образом, в работе мышечного веретена пусковым моментом является растяжение его центральной части, которое может наступить в двух случаях:

1) *при растяжении самой мышцы*, так как при этом увеличивается длина экстрафузальных волокон и прикрепленных к ним интрафузальных, а значит и их центральной части (рис. 3А), этот механизм важен для реализации спинальных тонических рефлексов (см. вопрос 36);

2) *при сокращении сократительных элементов* мышечного веретена, так как при этом также происходит растяжение его центральной части

(рис. 3В); этот механизм важен для постоянного поддержания высокой возбудимости рецепторов мышечного веретена (см. вопрос 17).

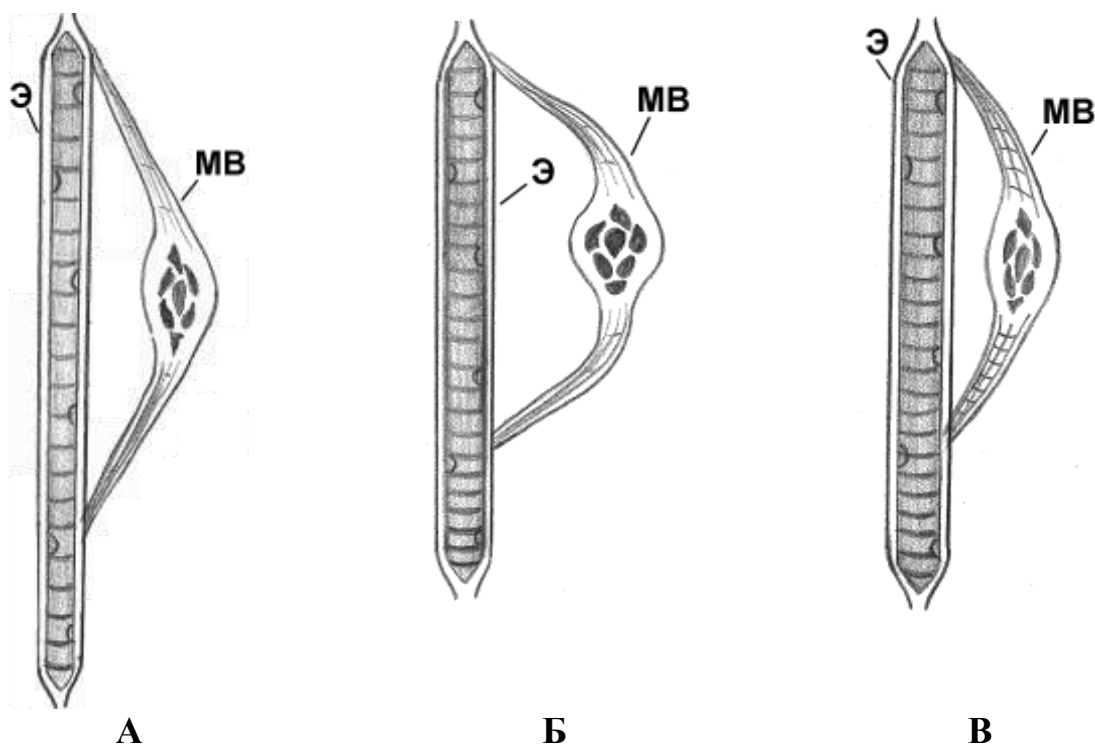


Рис. 3. Состояние мышечного веретена при растяжении мышцы (А), при сокращении мышцы (Б), при сокращении мышцы и сократительных элементов мышечного веретена (В)
Э – экстрафузальные волокна; МВ – мышечное веретено

Мышечные веретена есть во всех поперечнополосатых мышцах человека. Их количество в каждой мышце определяется ее размером и функцией. Число мышечных веретен на 1 г мышечной ткани особенно высоко в мелких мышцах, выполняющих тонкие движения, например в мелких мышцах кисти; в крупных мышцах туловища это число меньше единицы.

14. Что называется сухожильным рецептором Гольджи? Какова его роль?

Сухожильные рецепторы Гольджи часто называют **сухожильными органами**, так как они локализованы в сухожилиях мышц в месте их соединения с мышцами (рис. 4).

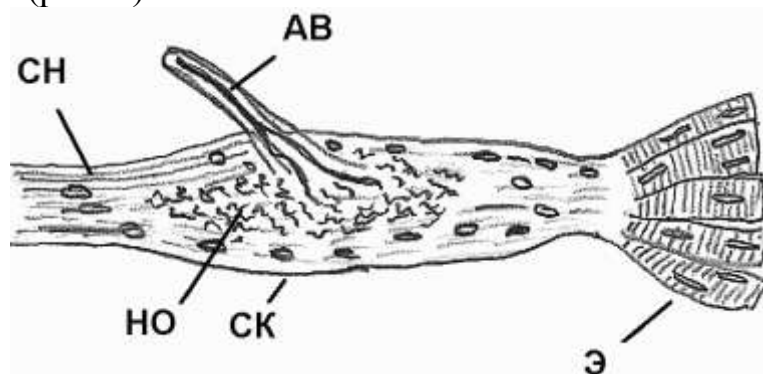


Рис. 4. Сухожильный орган (рецептор) Гольджи
Э – экстрафузальные мышечные волокна; СН – сухожильные нити; СК – соединительнотканная капсула; НО – свободные нервные окончания; АВ – афферентное волокно

Рецепторы Гольджи состоят из сухожильных нитей, соединенных с 10-12 экстрафузальными мышечными волокнами и заключенных в соединительнотканную капсулу. В ней находятся свободные нервные окончания, адекватным раздражителем для которых является *растяжение соединительнотканной капсулы*. Растяжение капсулы возможно только при сокращении мышцы, то есть при ее укорочении или увеличении степени напряжения. Поэтому рецепторы Гольджи называют *рецепторами напряжения*.

От рецепторов Гольджи, также как и от рецепторов мышечного веретена, отходят афферентные волокна, несущие информацию в ЦНС.

15. Куда поступает информация с проприорецепторов?

Информация с проприорецепторов поступает одновременно и в спинной, и в головной мозг (рис. 5).

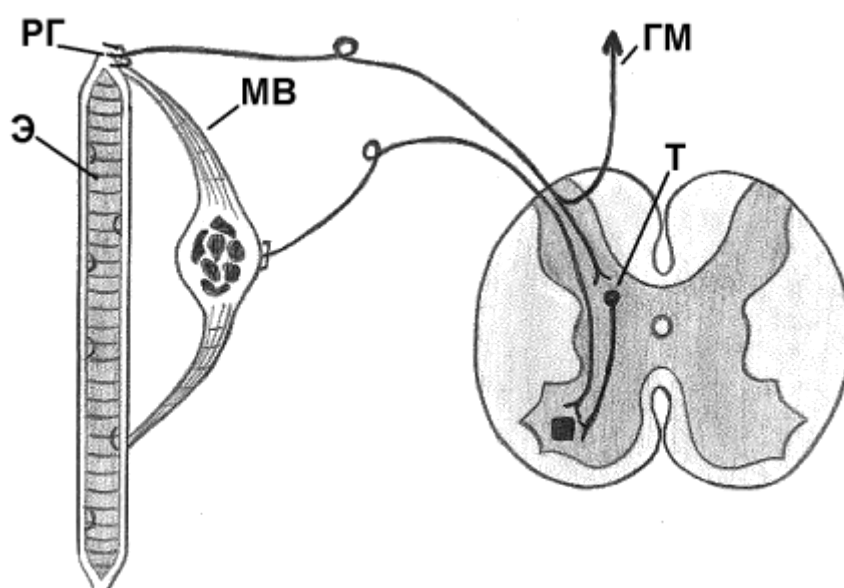


Рис. 5. Афферентные потоки информации с проприорецепторов
 Э – экстрафузальные волокна; МВ – мышечное веретено; РГ – рецепторы Гольджи; ГМ – афферентная информация в головной мозг; ■ – α -мотонейрон; Т – вставочный тормозной нейрон

В спинной мозг импульсы идут или прямо на α -мотонейроны (возбуждая их) или на тормозные нейроны, которые тормозят α -мотонейроны.

В головной мозг импульсы поступают в различные отделы: в ствол мозга, в мозжечок, в промежуточный мозг, в базальные ганглии, и, конечно, в кору больших полушарий. В головном мозге обязательно происходит интеграция информации, поступающей с проприорецепторов, с информацией с других рецепторов (зрительных, вестибулярных, тактильных рецепторов кожи и др.). Таким образом, мозг получает полное представление о характере двигательного акта. В связи с этим своевременно вносятся поправки в реализуемые моторные программы, исполнительным звеном которых являются α - и γ -мотонейроны.

Итак, все выше описанные потоки импульсов в ЦНС обеспечивают реализацию *принципа сенсорных коррекций* (см. вопрос 11).

16. Куда поступает информация с α -мотонейронов?

Информация с α -мотонейронов поступает на экстрафузальные волокна быстрых и медленных моторных единицы (рис. 6), совокупность которых обеспечивает сокращение мышцы и придает движению нужный характер. Однако следует помнить, что при фазических сокращениях (обеспечивают передвижение тела и отдельных его частей в пространстве) основным рабочим элементом являются быстрые моторные единицы.

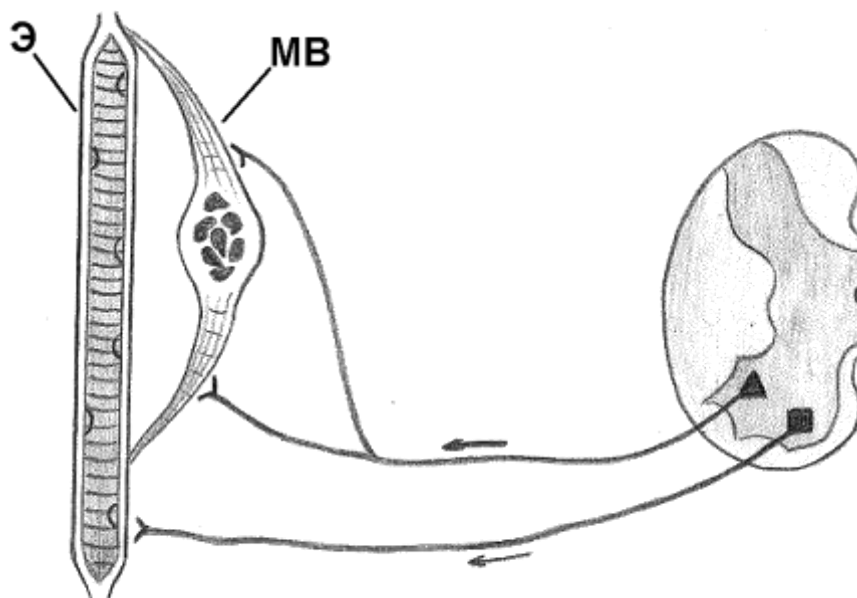


Рис. 6. Структурно-функциональные связи α и γ -мотонейронов спинного мозга с рабочими органами

Э – экстрафузальные волокна; МВ – мышечное веретено; ■ – α -мотонейрон; ▼ – γ -мотонейрон

17. Какова роль γ -мотонейронов?

Гамма-мотонейроны иннервируют *сократительные элементы* интрафузальных волокон (рис. 6), вызывая тем самым их сокращение и натяжение центральной части мышечного веретена, где расположены рецепторы, реагирующие на растяжение мышцы. Обычно гамма-мотонейроны возбуждаются практически одновременно с альфа-мотонейронами. В физиологии это называется *α - γ -коактивацией*.

18. Что называется α - γ -коактивацией? Какова ее функциональная роль?

Альфа-гамма-коактивация – это одновременное возбуждение α - и γ -мотонейронов в процессе реализации движения. При этом возбуждение α -мотонейронов приводит к сокращению мышцы (ее экстрафузальных волокон). Возбуждение γ -мотонейронов вызывает адекватное укорочение интрафузальных волокон, чтобы они не находилось в расслабленном состоянии и постоянно «следили» за состоянием экстрафузальных волокон, а значит, и всей мышцы (рис. 7). Следовательно, коактивацией α - и γ -мотонейронов заканчивается любой двигательный акт.

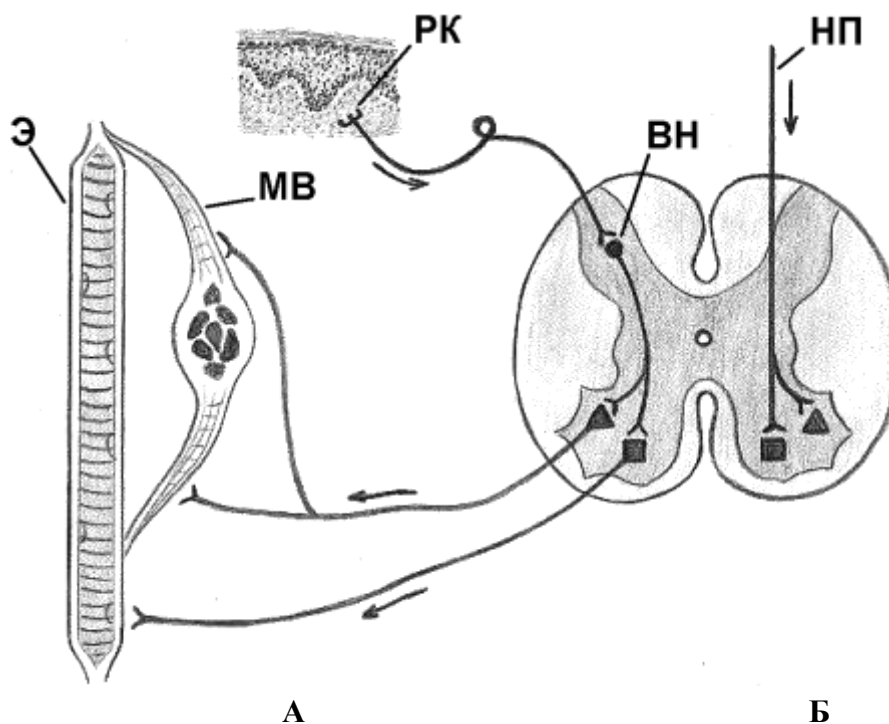


Рис. 7. Альфа-гамма-коактивация
 А – при рефлекторной реакции; Б – при произвольном движении
 ■ – α -мотонейрон; ▼ – γ -мотонейрон; ВН – вставочный нейрон; РК – рецепторы кожи; МВ – мышечное веретено; Э – экстрафузальные волокна; НП – нисходящие пути из головного мозга

19. Каким образом запускается двигательный акт?

Простые двигательные акты (рефлекторные) запускаются с различных рецепторов. Например, защитно-оборонительная двигательная реакция отдергивания конечности от горячего предмета возникает с болевых рецепторов кожи.

Сложные двигательные акты (произвольные, целенаправленные) запускаются по-разному в зависимости от имеющейся у человека потребности. Если потребности *биологические*, то двигательный акт инициируется *лимбической системой мозга* («побуждение» к движению). Если потребности *социальные*, то двигательный акт инициируется *ассоциативной корой больших полушарий* («замысел» движения).

20. Какие структуры участвуют в реализации двигательного акта?

Для реализации побуждения и замысла двигательного акта возбуждение из лимбической системы и из ассоциативной коры распространяется далее по одним и тем же структурам в одном и том же направлении (рис. 8). Сначала оно поступает в базальные ганглии и мозжечок, где активируются (растормаживаются) врожденные и приобретенные моторные программы, необходимые в данном конкретном случае для реализации возникшей потребности. Далее эти готовые моторные программы «вызываются» на моторные ядра таламуса, где завершается формирование программы пространственно-временной последовательности импульсов, которая для реализации подается в прецентральную извилину к клеткам Беца. Одновременно от

нейронов базальных ганглиев и мозжечка импульсы через красное ядро и ядро Дейтерса поступают к моторным нейронам спинного мозга, контролирующим мышечный тонус (см. вопросы 54, 55, 56, 59). Таким образом, тело человека подготавливается к двигательному акту (к реализации моторной программы).

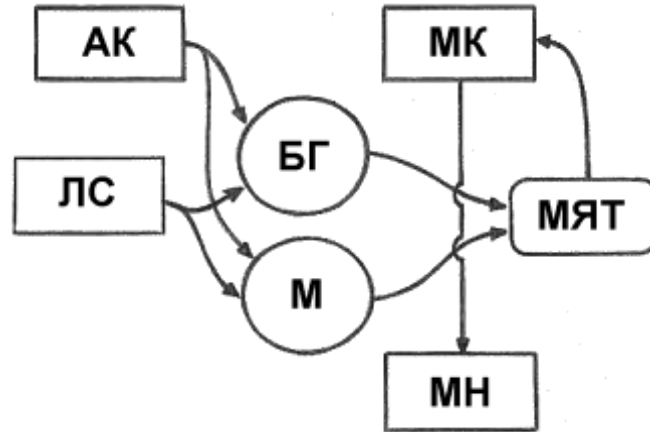


Рис. 8. Поступательный механизм развития двигательного акта

АК – ассоциативная кора; ЛС – лимбическая система; БГ – базальные ганглии; М – мозжечок; МЯТ – моторное ядро таламуса; МК – моторная кора; МН – мотонейроны ствола головного мозга и спинного мозга

При осуществлении новых для человека двигательных актов, особенно требующих сложных движений, обязательно принимает участие *префронтальная кора* (поле 6 по Бродману), от которой импульсы идут непосредственно на клетки Беца. От клеток Беца по пирамидному тракту возбуждение спускается к моторным нейронам ствола и спинного мозга. Подавляющее большинство импульсов доходит до моторных нейронов опосредованно через вставочные нейроны. Но к мотонейронам мышц, совершающих тонкие, точные движения (например, мышцы кисти рук), возбуждение идет непосредственно от клеток Беца.

Учитывая сложность архитектуры двигательного акта и определенную последовательность включения в работу различных структур мозга, выделяют отдельные блоки управления движением.

21. Назовите основные блоки управления движением?

Выделяют 3 основных блока управления движением:

- **блок инициации движения;**
- **блок планирования движения;**
- **исполнительный блок.**

В **блок инициации движения** входят лимбическая система и ассоциативная кора. Он включает в работу блок планирования движения.

В **блок планирования движения** входят все структуры мозга, где сосредоточены врожденные и приобретенные моторные программы. Это спинной мозг, ствол мозга, мозжечок, базальные ганглии, моторное ядро таламуса и моторная кора (прецентральная и префронтальная зоны). Из этого блока готовая моторная программа поступает в исполнительный блок.

В **исполнительный блок** входят мотонейроны ствола мозга и спинного мозга и подчиняющиеся им, моторные единицы.

Функционирование блока планирования и исполнительного блока осуществляется на фоне постоянного поступления афферентных импульсов (сенсорные коррекции), информирующих мозг о характере движения, о промежуточных и конечных результатах двигательного акта.

Включение блоков управления движения происходит в определенной последовательности, что позволяет говорить о **структурно-функциональной организации двигательного акта**.

22. Какова структурно-функциональная организация двигательного акта?

В структурно-функциональной организации двигательного акта выделяют 2 фазы:

- **фаза подготовки движения;**
- **фаза выполнения движения.**

Фаза подготовки движения осуществляется при совместной работе блоков инициации и планирования движения. Эта фаза развивается по следующей схеме:

- 1) человек испытывает биологическую или социальную потребность;
- 2) на базе потребности включается блок инициации движения → возникает и развивается мотивационное возбуждение;
- 3) формируется аппарат афферентного синтеза → принимается конкретное решение → формируется акцептор результата действия, то есть стратегия двигательного компонента поведенческого акта;
- 4) в связи с конкретной ситуацией разрабатывается тактика двигательного акта, то есть включаются аппарат программирования: выбираются необходимые готовые врожденные и приобретенные моторные программы, а в случае необходимости осуществляется их коррекция.

Фаза выполнения движения осуществляется исполнительным блоком, который включается в работу пирамидными клетками Беца. В реализации двигательного акта принимает участие и экстрапирамидная система, обеспечивающая соответствующую позу, благоприятную для данного движения.

23. В каких случаях может произойти нарушение управления движением?

Нарушение управления движением может произойти при самых разнообразных структурных и функциональных нарушениях в ЦНС:

- травматическом повреждении;
- воспалительном процессе;
- нарушении кровообращения;
- онкологических заболеваниях;
- гипоксемии;
- недостатке питательных веществ;
- нарушении метаболизма;
- токсическом воздействии и т.д.

24. Каковы последствия нарушения управления движением?

В зависимости от тяжести повреждения мозговой ткани могут возникать различного рода **плегии** – нарушения двигательной функции. Среди них различают **параличи** и **парезы**.

Паралич – это полное выпадение двигательной функции, при котором произвольные движения становятся невозможными.

Парез – это частичное выпадение двигательной функции с частичным ослаблением мышечной силы и затруднением эффективной произвольной мышечной деятельности.

Нарушения двигательной функции могут происходить на разных участках тела, но ярче всего проявляются на конечностях.

25. Какие виды плегий встречаются в практике врача?

В зависимости от локализации повреждения нервной системы различают плегии (чаще речь идет о параличах):

- центральные, если повреждение мозга произошло выше α -мотонейронов, то есть на пути от двигательной коры (включая ее) до α -мотонейрона;
- периферические, повреждены сами α -мотонейроны или эфферентные нервные волокна.

По количеству поврежденных конечностей выделяют следующие виды плегий:

- моноплегия – одна конечность;
- параплегия – две конечности;
- триплегия – три конечности;
- гемиплегия – половина тела (левая или правая)»
- тетраплегия – четыре конечности.

27. По каким признакам можно провести дифференциальный диагноз между центральным и периферическим параличом?

Дифференциальный диагноз между центральным и периферическим параличом можно провести по ряду признаков (таблица 1). При этом следует помнить, что признаки, характерные для периферического паралича, со временем прогрессивно нарастают. Признаки же, характерные для центрального паралича, иногда носят фазный характер в связи с возможным развитием спинального шока. В таблице указаны признаки, проявляющиеся у пациента после прекращения явлений спинального шока.

Таблица 1.

Отличительные особенности центрального и периферического паралича

Отличительные признаки	Центральный паралич	Периферический паралич
Трофика мышц	не нарушена	развивается атрофия мышц
Тонус мышц	есть, может быть повышен	атония
Рефлексы	есть и может быть гиперрефлексия	отсутствуют
Возбудимость мышц	повышена	понижена
Электрмиограмма	биоэлектрическая активность в норме или усилена	отсутствует

Выше мы разобрали причины и основные механизмы, объясняющие передвижение тела человека и отдельных его частей в пространстве, выяснили основные блоки управления движением и структурно-функциональную организацию двигательного акта, рассмотрели возможные причины и механизмы нарушения двигательной функции.

Практически те же самые структуры контролируют и так называемые позы движения, обеспечивающие позу тела и, благодаря которым человек и в состоянии покоя, и при передвижении в пространстве поддерживает равновесие тела в пространстве.

28. Что называется равновесием тела в пространстве?

Равновесие – это устойчивое положение тела в пространстве, при котором проекция центра тяжести тела проходит через площадь его опоры. Состояние равновесия может поддерживаться в самых разнообразных позах тела (например, школьник сидит за партой, студент стоит у доски, гимнаст делает стойку на руках и др.).

29. Что обозначается позой тела?

Поза – это фиксированное положение тела и отдельных его частей в пространстве, обеспечиваемое работой опорно-двигательного аппарата. Человек, выполняя работу, занимаясь физическими упражнениями, просто отдыхая, принимает разнообразные, удобные на данный момент позы. Та или иная поза удобна не только для отдыха или статического состояния, но и важна в процессе движения, в подготовке к двигательному акту. В отличие от животных, человек большую часть времени проводит в вертикальной позе, в которой наиболее активно функционируют все антигравитационные механизмы.

30. Какой элемент опорно-двигательного аппарата является наиболее важным в поддержании позы тела?

В поддержании позы все элементы опорно-двигательного аппарата (кости, сухожилия, связки) выполняют свою определенную функцию, но наиболее важную (*активную*) роль играют скелетные мышцы, сокращения которых приводят к перемещению костей скелета в пространстве, а значит, к изменению позы. Таким образом, скелетные мышцы должны находиться в состоянии постоянной тонической активности или в состоянии *тонуса*.

31. Что называется мышечным тонусом?

Мышечный тонус – это состояние длительного умеренного укорочения мышцы без выраженного утомления. Тоническое сокращение мышцы обеспечивается в основном за счет укорочения медленных моторных единиц.

32. Как доказать наличие тонуса скелетных мышц?

Это можно сделать в следующих экспериментах на спинальной лягушке, которую подвешивают на штативе так, чтобы лапки свободно свисали.

При этом между бедром и голенью заметен тупой угол (рис. 9А). Если на одной из лапок отпрепарировать, а затем перерезать седалищный нерв, то эта лапка заметно удлинится, а угол между бедром и голенью станет еще более тупым или вообще исчезнет (рис. 9Б).

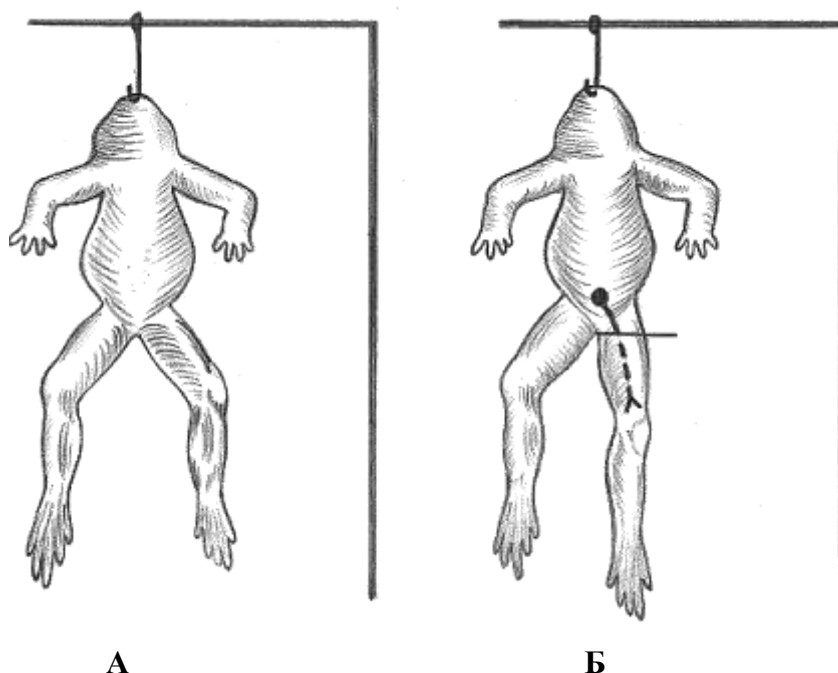


Рис. 9. Иллюстрация к опыту по доказательству наличия тонуса скелетных мышц у лягушки

А – спинальная лягушка в штативе; Б – та же лягушка с перерезанным слева седалищным нервом

Для доказательства наличия тонуса скелетных мышц у лягушки можно разрушить всю центральную нервную систему и тогда тонус мышц исчезнет на обеих лапках. **Этим доказываемся важная роль ЦНС для создания тонуса скелетных мышц.** Однако тонус скелетных мышц исчезает и при проведении опыта Бронджеста, в котором ЦНС (спинной мозг) остается интактной.

33. Как проводится и что доказывает опыт Бронджеста?

Он проводится также на спинальной лягушке. На спинке лягушки около позвоночного столба с одной стороны (например, слева) скальпелем или бритвой (осторожно!) перерезают задние (чувствительные) корешки спинного мозга. При этом сразу же исчезает тонус скелетных мышц на левой лапке. Это доказывает, что тонус скелетных мышц зависит от состояния каких-то периферических рецепторов, импульсы от которых идут через ЦНС и обеспечивают тонус мышц. Другими словами можно сказать, что **тонус скелетных мышц имеет рефлекторное происхождение.**

Рефлексы, за счет которых создается тонус скелетных мышц, называются тоническими! Тонические рефлексы обеспечиваются работой преимущественно медленных моторных единиц!

34. Как можно классифицировать тонические рефлексy?

Есть несколько принципов, по которым классифицируют тонические рефлексy.

По месту возникновения (то есть, с каких рецепторов они вызываются):

- проприоцептивные (с проприорецепторов);
- вестибулярные (с вестибулорецепторов);
- кожные (с термо- и механорецепторов кожи).

По уровню замыкания:

- *спинальные* (на уровне спинного мозга);
- *стволовые* (на уровне ствола мозга).

Спинальные тонические рефлексy могут быть:

- сегментарными;
- межсегментарными.

По функциональному значению:

- *статические* (обеспечивают тонус скелетных мышц в состоянии покоя);
- *статокинетические* (обеспечивают тонус скелетных мышц при передвижении тела или отдельных его частей в пространстве).

Статические рефлексy могут быть:

- *позными* (обеспечивают сохранение позы тела в покое или изменение ее при *пассивном* перемещении тела в пространстве);
- *выпрямительными* (обеспечивают восстановление утраченной по той или иной причине позы).

Статокинетические рефлексy могут быть связаны с передвижением:

- тела в горизонтальной плоскости с ускорением;
- тела в вертикальной плоскости с ускорением (*лифтные рефлексy*);
- тела вокруг своей оси (вращение);
- отдельных частей тела в пространстве.

Ориентируясь на эту классификацию, можно с уверенностью сказать, что у спинальной лягушки мышечный тонус обеспечивается ***спинальными тоническими рефлексами***.

35. С каких рецепторов начинаются спинальные тонические рефлексy и каков механизм спинального тонического рефлекса?

Спинальные тонические рефлексy начинаются с рецепторов мышечно-го веретена (при его растяжении) (см. вопрос 13). Отсюда импульсы поступают через задние корешки в спинной мозг и моносинаптически возбуждают α -мотонейроны передних рогов спинного мозга, от которых импульсы идут к медленным экстрафузальным волокнам, вызывая их сокращение (рис. 10). Таков механизм спинального тонического рефлекса, благодаря которому у человека постоянно существует более или менее выраженный тонус скелетных мышц.

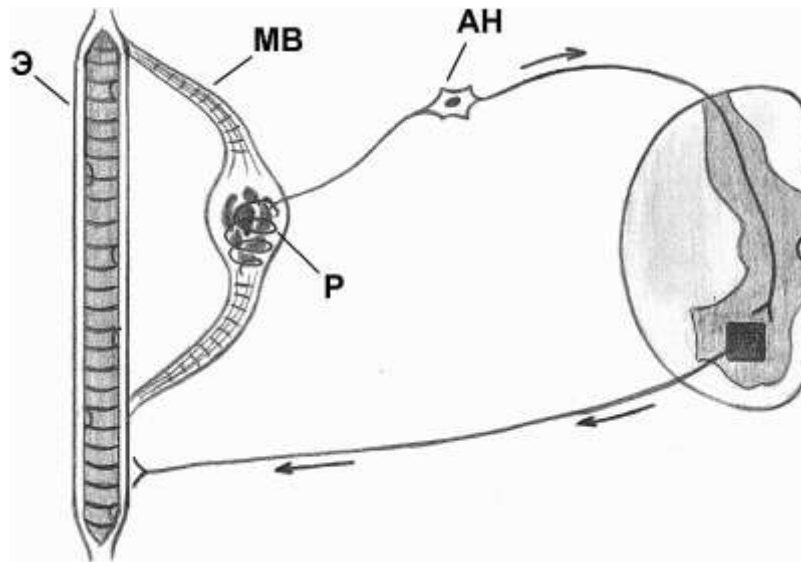


Рис. 10. Рефлекторная дуга спинального тонического рефлекса
 Э – экстрафузальные волокна; МВ – мышечное веретено; Р – рецепторы мышечно-го веретена; АН – тело афферентного нейрона; ■ – α-мотонейрон

36. Что является главной причиной тонуса скелетных мышц в состоянии покоя?

Основной причиной тонуса скелетных мышц является сила земного притяжения (сила гравитации). В результате воздействия этой силы мышцы нашего тела (особенно на конечностях!) растягиваются, а значит, увеличивается длина и интрафузальных волокон, в центральной части которых располагаются чувствительные окончания мышечных веретен. Вследствие этого возникает спинальный тонический рефлекс, способствующий появлению мышечного тонуса.

37. Почему же (если сила земного притяжения существует постоянно) мышцы не находятся в состоянии гипертонуса?

Это не происходит потому, что существует механизм, противодействующий созданию мышечного тонуса. Этот механизм условно можно назвать «**антитоническим**» рефлексом.

38. Каков механизм «антитонического» рефлекса?

Этот рефлекс начинается с сухожильных рецепторов Гольджи, которые возбуждаются при укорочении мышцы. Часто эти рецепторы называют **рецепторами напряжения**. С этих рецепторов информация идет в спинной мозг и попадает на тормозной вставочный нейрон, который уменьшает активность α-мотонейрона, а значит, снижает тонус мышцы (рис. 11).

39. Если в отношении создания мышечного тонуса существуют два противоборствующих (антагонистических) механизма, то почему же он существует?

Это происходит потому, что возбудимость рецепторов мышечного веретена несколько выше, чем возбудимость рецепторов Гольджи. Поэтому

мышечный тонус есть и он был бы еще более выражен, если бы так называемый «антитонический» рефлекс не ограничивал активность α -мотонейронов спинного мозга.

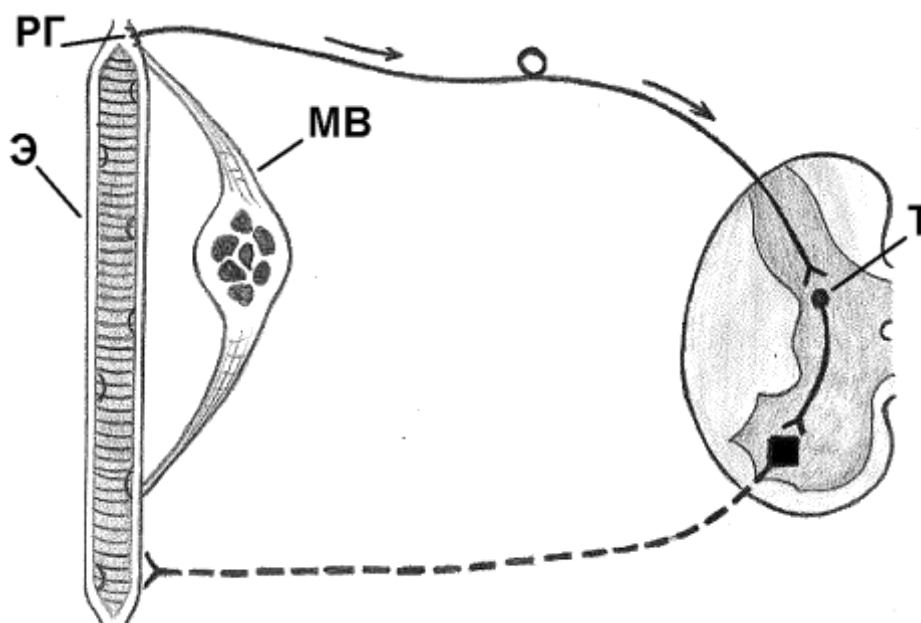


Рис. 11. Рефлекторная дуга «антитонического» рефлекса

Э – экстрафузальные волокна; МВ – мышечное веретено; РГ – рецепторы Гольджи; Т – вставочный тормозной нейрон; ■ – α -мотонейрон (пунктиром показано уменьшение или полное отсутствие импульсов)

40. Какова характеристика тонуса скелетных мышц спинального животного?

У спинального животного, в связи с фазными изменениями возбудимости нейронов спинного мозга, тонус скелетных сначала полностью отсутствует (спинальный шок), затем постепенно восстанавливается и становится повышенным (гипертонус). Но на всех этапах изменения он остается *равномерным* по отношению к мышцам-сгибателям и разгибателям.

Спинальное животное не может осуществлять произвольные и целенаправленные движения, не может поддерживать состояние равновесия, так как α - и γ -мотонейроны разъединены с управляющими структурами головного мозга.

41. Какова роль заднего мозга в создании мышечного тонуса?

Роль заднего мозга удобнее всего рассмотреть на *бульбарном животном*. У такого животного поперечным разрезом ствола задний мозг отделен от среднего мозга. После подобной операции у животного развивается резкий гипертонус мышц-разгибателей с характерной позой (рис. 12). В научной и учебной литературе такое состояние называется *децеребрационная ригидность*.

У бульбарного животного есть статические позные рефлексy, но нет позных выпрямительных и статокINETических рефлексy.



Рис. 12. Децеребрационная ригидность у бульбарного животного

42. Какие структуры заднего мозга участвуют в регуляции тонуса скелетных мышц?

В заднем мозге есть группа вестибулярных ядер, среди которых наиболее важную роль для регуляции мышечного тонуса играют ядра Дейтерса. Нисходящие волокна нейронов ядра Дейтерса (Tractus vestibulospinalis) заканчиваются в спинном мозге на γ -мотонейронах мышц-разгибателей. Вместе с тем в регуляции тонуса мышц имеет большое значение и часть ретикулярной формации, активирующаяся за счет импульсов, приходящих из ядра Дейтерса. Нисходящие волокна нейронов ретикулярной формации (Tractus reticulospinalis) заканчиваются на α - и γ -мотонейронах мышц-разгибателей, повышая их возбудимость (рис.13).

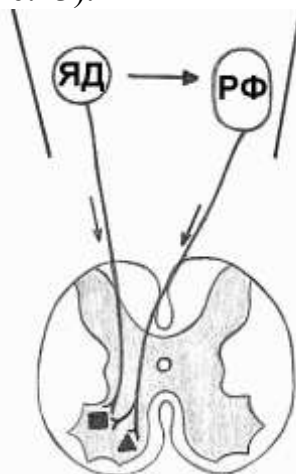


Рис. 13. Влияние структур заднего мозга на мотонейроны спинного мозга
 ЯД – ядро Дейтерса; РФ – участок ретикулярной формации, связанный с ядром Дейтерса; ■ – α -мотонейрон мышц-разгибателей; ▼ – γ -мотонейрон мышц-разгибателей

43. Каков механизм формирования децеребрационной ригидности?

Чтобы понять происхождение децеребрационной ригидности необходимо понимать, что кроме ядра Дейтерса есть и другие образования головного мозга, оказывающие влияние на мотонейроны спинного мозга. В частности в среднем мозге есть красное ядро, которое оказывает активирующее влияние на α - и γ -мотонейроны мышц-сгибателей. При отделении заднего

мозга от вышележащих отделов красное ядро уже не оказывает своего влияния на спинной мозг, и он находится исключительно под влиянием ядра Дейтерса. В связи с этим, активность γ -мотонейронов мышц-разгибателей значительно выше активности γ -мотонейронов мышц-сгибателей. Следствием этого является то, что укорачиваются сократительные элементы интрафузально-го волокна мышц-разгибателей, растягивается ядерная сумка и включается тонический спинальный рефлекс, направленный на повышение тонуса мышц-разгибателей (рис.14).

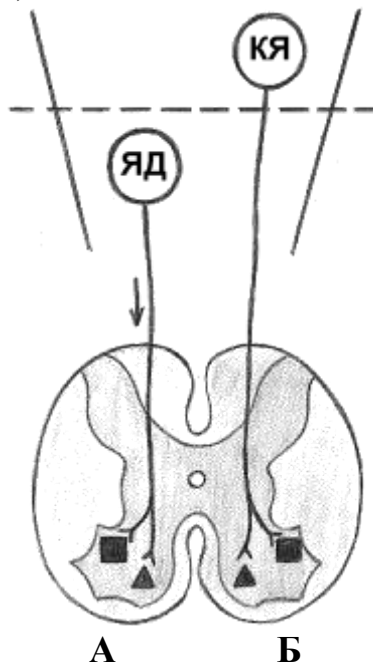


Рис. 14. Влияние ядра Дейтерса и красного ядра на мотонейроны спинного мозга
 А – α - и γ -мотонейроны мышц-разгибателей; Б – α - и γ -мотонейроны мышц-сгибателей (пунктиром показан уровень перерезки ствола мозга у бульбарного животного)
 ЯД – ядро Дейтерса; КЯ – красное ядро;

44. Какова причина тонуса ядра Дейтерса?

Ядро Дейтерса находится в состоянии постоянного тонуса за счет импульсов, поступающих к нему из 2 источников:

- с рецепторов вестибулярного (отолитового) аппарата;
- с проприорецепторов мышц шеи.

Это было продемонстрировано в опытах голландского физиолога Р.Магнуса.

45. Каким образом была доказана роль рецепторов вестибулярного аппарата в поддержании тонуса ядра Дейтерса?

Децеребрированному животному накладывался гипсовый корсет (повязка) так, чтобы голова по отношению к туловищу находилась всегда в одном положении (при этом мышцы шеи не сокращались, а их проприорецепторы не раздражались!). Если такое животное поворачивать вокруг оси, проходящей через оба виска, то происходит изменение тонуса мышц разгибателей в зависимости от положения тела в пространстве.

Было установлено, что наиболее высокий тонус мышц разгибателей соответствует максимальному возбуждению в рецепторном аппарате лабиринтов внутреннего уха. И наоборот, минимальный тонус наблюдается при таком положении головы, когда эти вестибулорецепторы не возбуждаются.

Если в продолжение этого эксперимента у животного разрушить рецепторы вестибулярного аппарата, то изменение положения тела в пространстве уже не вызовет перераспределения тонуса скелетных мышц и явления децеребрационной ригидности мышц станут гораздо менее выраженными.

46. Каким образом была доказана роль проприорецепторов мышц шеи в создании тонуса ядра Дейтерса?

После проведения предыдущего эксперимента у животного с разрушенным вестибулярным аппаратом убирают гипсовую повязку, фиксирующую его голову по отношению к туловищу. Если голову такого животного сгибать (наклонять вниз по отношению к туловищу), то возрастает тонус мышц-разгибателей на задних конечностях и тонус мышц-сгибателей на передних конечностях (рис.15А). Если голову животного запрокинуть назад, то нарастает тонус мышц-разгибателей на передних конечностях и тонус мышц-сгибателей на задних конечностях (рис. 15Б).

После перерезки задних корешков шейных сегментов спинного мозга (зона иннервации мышц шеи) перераспределение тонуса мышц при поворотах головы не происходит.

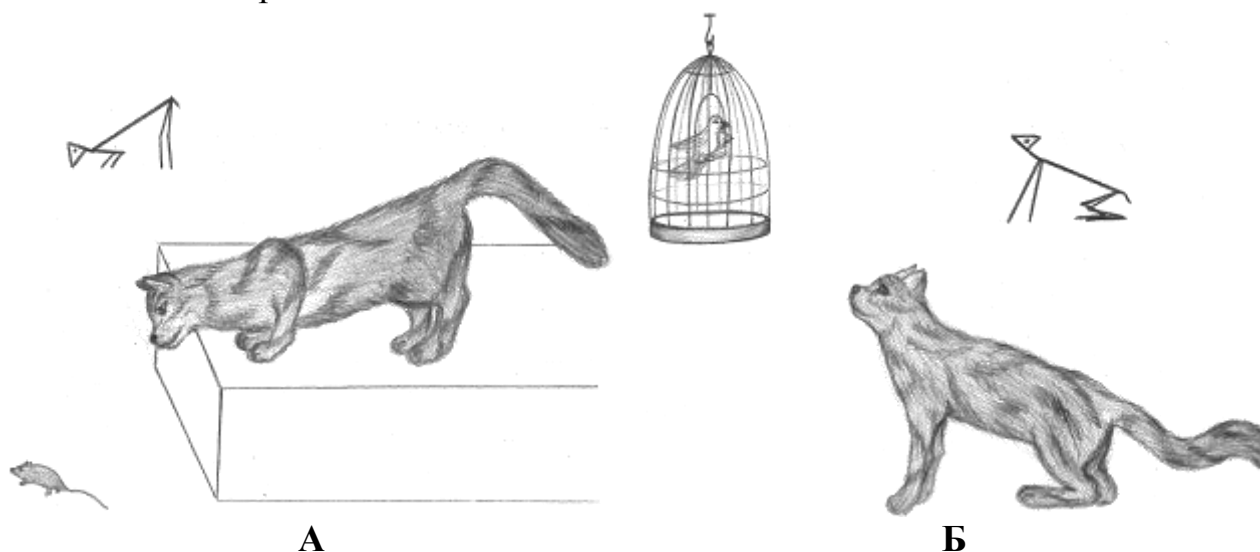


Рис. 15. Доказательство роли проприорецепторов мышц шеи в создании тонуса ядра Дейтерса (опыт Р.Магнуса)

47. Какова роль среднего мозга в создании мышечного тонуса?

Роль среднего мозга удобнее всего рассмотреть на *мезенцефальном животном*, то есть животном, у которого проведена поперечная перерезка мозга между средним и промежуточным его отделами. После подобной операции у животного тонус мышц и сгибателей и разгибателей повышен и выражен равномерно. У такого животного можно видеть всю гамму тонических рефлексов (имеются статические и статокINETические рефлексy).

48. Какие структуры среднего мозга участвуют в регуляции тонуса скелетных мышц?

В среднем мозге есть ряд образований, участвующих в регуляции тонуса скелетных мышц или связанных определенным образом с этим процессом:

- красное ядро;
- ретикулярная формация;
- черная субстанция;
- ядра III, IV и VI черепно-мозговых нервов.

49. Какова роль красного ядра в регуляции тонуса скелетных мышц?

В ответе на вопрос № 43 говорилось, что красное ядро постоянно активирует импульсную активность γ -мотонейронов мышц-сгибателей, а значит, уравнивает активность ядра Дейтерса, в результате чего тонус мышц сгибателей и разгибателей выражен равномерно. Однако есть данные и о том, что красное ядро постоянно тормозит ядро Дейтерса (более активное), что также уравнивает тонус этих двух важных образований ствола мозга.

Кроме того красное ядро активирует часть ретикулярной формации ствола мозга, которая по нисходящим трактам поддерживает возбудимость α - и γ -мотонейронов мышц сгибателей. То есть ретикулярная формация усиливает влияние красного ядра на мышцы сгибатели.

50. Какова причина тонуса красного ядра?

Известно много источников тонуса красного ядра. Это импульсы, идущие от мозжечка, гипоталамуса, ретикулярной формации и др.

Но на красное ядро оказываются и тормозные влияния (например, нейронами бледного шара). Следовательно, тонус красного ядра определяется многими факторами.

51. В чем заключается роль черной субстанции среднего мозга в регуляции тонуса скелетных мышц?

От черной субстанции есть выходы как на вышележащие структуры (подробнее об этом см. ниже в вопросе № 59), так и на нижележащие образования. Так известно, что черная субстанция контролирует мелкие, точные движения мышц кисти рук и при повреждении ее контроль над работой этих мышц нарушается. Для таких больных (например, с синдромом Паркинсона) характерен тремор покоя.

От состояния черной субстанции зависит качество врожденных моторных программ ствола мозга (например, процесс глотания и его координация с дыхательным циклом).

52. Каково значение ядер III, IV и VI черепно-мозговых нервов для регуляции тонуса скелетных мышц?

Ядра глазодвигательного (III), блокового (IV) и отводящего (VI) нервов располагаются в стволе мозга (средний мозг и мост). Отсюда осуществляется иннервация мышц глазного яблока. Эфферентные волокна от этих ядер свя-

заны между собой за счет *медиального продольного пучка*, в составе которого идут волокна от вестибулярных ядер. Волокна продольного пучка спускаются в спинной мозг к мотонейронам и участвуют в содружественном движении туловища, головы и глаз при различных движениях, в частности при реализации позных и статокинетических рефлексов.

Поэтому при различных двигательных нарушениях (мозжечковые расстройства, повреждение задних столбов спинного мозга и др.), повреждении вестибулярного аппарата, вестибулярных ядер сопутствующим симптомом является спонтанный *нистагм*. Нистагм – это ритмическое подергивание глаз. Он бывает горизонтальным, вертикальным и вращательным. Например, при патологии мозжечка чаще всего отмечается горизонтальный нистагм, направленный в сторону поражения.

53. Какова роль мозжечка в регуляции тонуса скелетных мышц и двигательной активности?

Мозжечок достаточно сложное образование мозга и в настоящее время в нем выделяют три структурно-функциональные зоны:

- медиальную (архицеребеллюм);
- среднюю (палеоцеребеллюм);
- латеральную (неоцеребеллюм).

В каждой из них есть корковый отдел мозжечка и ядерные структуры. В медиальной зоне находится *фастигеальное ядро*, в средней – *вставочное ядро*, в латеральной – *зубчатое ядро*. Все образования мозжечка имеют множественные связи со структурами головного и спинного мозга.

54. Каково функциональное значение медиальной зоны мозжечка?

Медиальная зона собирает информацию с вестибуло- и проприорецепторов о положении тела (и его частей) в пространстве и в связи с изменением положения тела контролирует изменение тонуса скелетных мышц (рис.16). Итак, медиальная зона мозжечка участвует в реализации позных тонических рефлексов.

55. Какова функциональная роль средней зоны мозжечка?

Средняя зона мозжечка интегрирует информацию о положении тела в пространстве (с вестибуло- и проприорецепторов) с информацией, поступающей из ассоциативной коры о «замысле» движения (рис. 17). В ответ на эту информацию из средней доли мозжечка импульсы идут на мотонейроны спинного мозга (для коррекции позы тела), а также в моторную кору (для коррекции моторной программы в связи с действительной позой тела и реальной возможностью ее изменения). Следовательно, средняя доля мозжечка координирует движение частей тела в пространстве в соответствии с изменением позы.

56. Каково функциональное значение латеральной зоны мозжечка?

Латеральная зона мозжечка не имеет прямого отношения к регуляции тонуса скелетных мышц, но имеет непосредственное отношение к осуществ-

лению самых различных двигательных актов. Здесь заложено множество врожденных моторных программ, а также формируются новые моторные программы, направленные на реализацию быстрых двигательных актов, не требующих обязательной информации о состоянии тонуса мышц (рис 18).

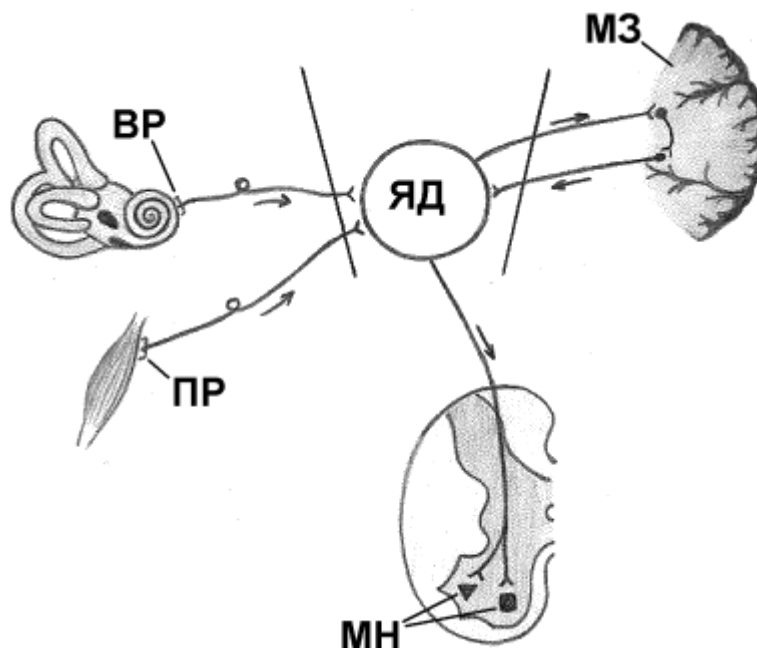


Рис. 16. Схема участия медиальной зоны мозжечка в регуляции тонуса скелетных мышц

ВР – вестибулярные рецепторы; ПР – проприорецепторы; ЯД – ядро Дейтерса; МН– мотонейроны спинного мозга; МЗ – медиальная зона мозжечка

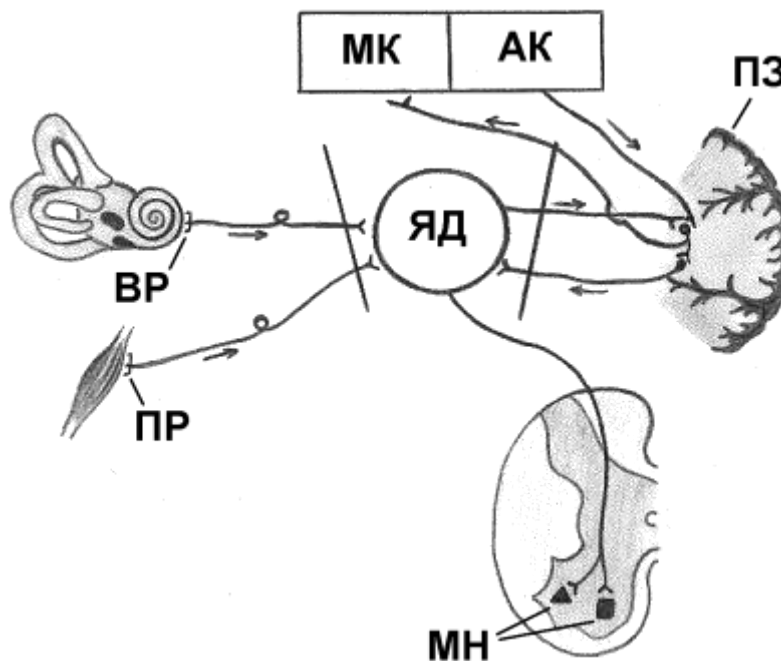


Рис. 17. Схема участия промежуточной зоны мозжечка в регуляции тонуса скелетных мышц

ВР – вестибулярные рецепторы; ПР – проприорецепторы; ЯД – ядро Дейтерса; МН – мотонейроны спинного мозга; ПЗ – промежуточная зона мозжечка; АК – ассоциативная кора; МК – моторная кора

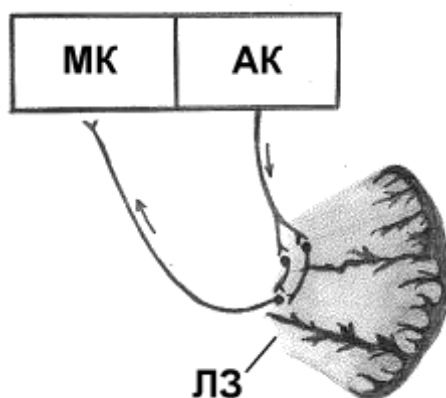


Рис 18. Схема участия латеральной зоны мозжечка в регуляции двигательных функций
 АК – ассоциативная кора; МК – моторная кора; ЛЗ – латеральная доля мозжечка

57. Какие нарушения в регуляции двигательных функций происходят после повреждения или удаления мозжечка?

После повреждения мозжечка отмечаются многочисленные нарушения двигательных функций, которые проявляются неоднозначно в зависимости от локализации повреждения мозжечка. Наиболее однозначные изменения возникают при удалении мозжечка, что было показано Л.Лючиани (1893). Все эти изменения можно разделить на основные и производные.

К **основным проявлениям** относятся:

- **атония**, а лучше сказать **дистония** – нарушение тонуса скелетных мышц с преобладанием в одних мышечных группах атонии и гипертонуса в других;
- **атаксия** – нарушение координации в работе мышц антагонистов, то есть нарушение принципа реципрокной иннервации;
- **асинергия** – нарушение координации в работе мышц-синергистов.

К **производным проявлениям** относятся:

- **астения** – повышенная утомляемость, невозможность длительно поддерживать двигательную активность в связи с тем, что животное (или больной) человек делает много лишних движений;
- **абазия** – нарушение способности поддерживать равновесие в вертикальном положении (при ходьбе);
- **адиадохокинез** – нарушение способности быстро совершать противоположные движения (например, сгибание – разгибание);
- **дисметрия** – нарушение пространственной ориентации при движении конечностей; человек «промахивается», не попадает рукой на нужный предмет;
- **тремор** (разновидность гиперкинеза) – дрожание конечностей, особенно в начале движения.

58. Какова роль базальных ганглиев в регуляции тонуса скелетных мышц и двигательной активности?

Напомним, что к базальным ганглиям относятся **полосатое тело (хвостатое ядро и скорлупа), бледный шар и ограда**. Наиболее хорошо изученными из них являются полосатое тело и бледный шар. Они составляют так называемую стриопаллидарную систему. Функционально в эту систему вхо-

дит черная субстанция среднего мозга. Между этими структурами существуют сложные взаимоотношения, которые упрощенно можно выразить следующим образом (рис. 19). Нейроны черной субстанции постоянно оказывают тормозное влияние на нейроны полосатого тела (в этом случае тормозным медиатором является дофамин). В свою очередь нейроны полосатого тела являются тормозными для нейронов бледного шара и самой черной субстанции (здесь тормозным медиатором является ГАМК). Нейроны бледного шара оказывают тормозное влияние на красное ядро среднего мозга. Кроме того, с нейронов бледного шара идут импульсы (врожденные и приобретенные моторные программы) на моторные ядра таламуса.

Сами базальные ганглии находятся под постоянным «контролем» коры больших полушарий и лимбической системы мозга. Из ассоциативной коры сюда, как и в мозжечок, постоянно поступает информация об очередном «замысле» какого-либо произвольного, целенаправленного движения, а из лимбической системы информация о «побуждении» к движению, связанному с реализацией каких-нибудь врожденных форм поведения. Поэтому стриопаллидарная система имеет очень большое значение в реализации всякого рода двигательных актов: произвольных, непроизвольных, целенаправленных и просто рефлекторных (как врожденных, так и приобретенных). Поэтому любые повреждения базальных ганглиев приводят к тем или иным нарушениям в двигательной сфере. Наиболее известными среди них являются *синдром Паркинсона* и *гиперкинезы*.

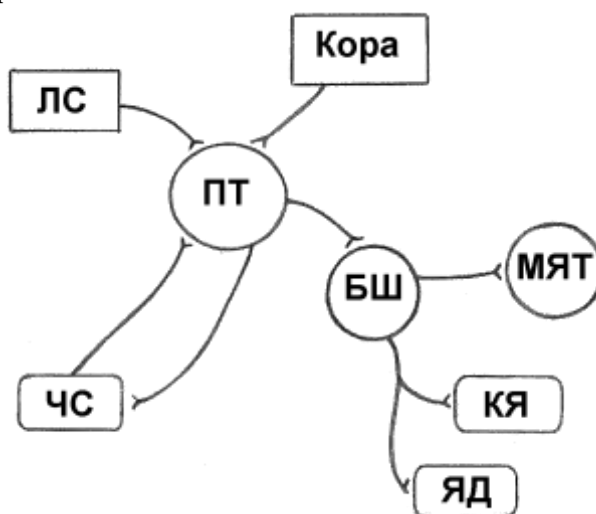


Рис. 19. Функциональные связи структур стриопаллидарной системы
 ПТ – полосатое тело; БШ – бледный шар; ЧС – черная субстанция; МЯТ – моторное ядро таламуса; КЯ – красное ядро; ЯД – ядро Дейтерса

59. Какова причина синдрома Паркинсона и в чем он проявляется?

Причина синдрома Паркинсона (акинетико-ригидный синдром) связана с усилением импульсной активности нейронов полосатого тела. Чаще всего это происходит из-за нарушения тормозного влияния черной субстанции на эти нейроны, которое может происходить по разным причинам (травматическое повреждение, нарушение метаболизма, токсическое воздействие и др.). Но в любом случае уменьшается объем выделяемого на нейроны полосатого

тела медиатора **дофамина**. Полосатое тело угнетает активность нейронов бледного шара, влияющих на тоническую деятельность, и повышает активность нейронов, влияющих на фазные движения. В результате развивается характерный комплекс симптомов, среди которых наиболее выражены следующие:

- **гипертонус мышц (особенно сгибателей):**
 - *пластический* тонус или *восковая ригидность* – больной надолго застывает в том или ином положении;
 - симптом «зубчатого колеса» – при пассивных движениях мышцы расслабляются не сразу, а постепенно;
 - характерная поза больного (полусогнуты конечности, туловище и голова наклонены вперед).
- **акинезия** или **гипокинезия** – мало движений, так как больному трудно начать и завершить двигательный акт:
 - амимия – отсутствие мимики (маскообразное лицо);
 - отсутствие или уменьшение жестикуляции;
 - осторожная походка мелкими шажками;
 - замедленная речь.
- **тремор** – дрожание конечностей (иногда и головы) в состоянии покоя; исчезает при целенаправленном движении и восстанавливается в состоянии покоя.

В лечении этого синдрома используется препарат L-ДОФА, который вводится в организм парентерально, проходит гематоэнцефалический барьер, попадает в мозг и восполняет в нем дефицит медиатора дофамина.

60. Какова причина гиперкинезов и в чем они проявляются?

Причина гиперкинезов (гиперкинетически-гипотонический синдром) заключается в повышении функциональной активности нейронов бледного шара, в результате чего резко угнетается тоническая и облегчается фазная деятельность мышц.

Среди гиперкинезов выделяют несколько клинических форм (хорея, атетоз, тик, гемибаллизм и др.), для которых наиболее характерны следующие проявления:

- **гипотония мышц;**
- **гиперкинезия:**
 - множество лишних, произвольных движений в покое и при движении;
 - «танцующая походка»;
 - гримасы из-за чрезмерной активности мышц;
 - заикание, торопливость в произношении слов и многие другие проявления.

Часто больные с гиперкинезами из-за необычности их поведения рассматриваются как умственно отсталые, хотя имеют нормальный интеллект и, безусловно, очень страдают (морально) из-за своего недуга.

61. Какова роль коры больших полушарий в регуляции тонуса скелетных мышц?

Кора больших полушарий головного мозга, безусловно, участвует в регуляции не только фазной, но и тонической активности. В этом легко убедиться в опытах на животных, у которых изменение тонуса мышц может происходить по механизму условных рефлексов (например, напряжение

мышц у собаки перед кормлением, перед какой-либо командой хозяина и др.). Доказательство участия коры полушарий в регуляции тонуса мышц у человека получить еще проще: для этого достаточно произвольно изменить напряжение любой мышцы тела. Из этих примеров понятно, что регуляции тонуса мышц участвует и ассоциативная и моторная кора. Но в регуляции равновесия тела, а значит, и тонуса мышц большое значение имеет и сенсорная кора, постоянно воспринимающая информацию, поступающую по двигательному, вестибулярному и зрительному анализаторам. В этом можно убедиться на практических занятиях при проведении исследования устойчивости человека в позе Ромберга, а также при стабилometрии.

62. Назовите наиболее известные и простые методы исследования способности человека координировать свои движения и поддерживать состояние равновесия?

Таких методов очень много и вы встретитесь с ними в клинике. В качестве примера приведем некоторые из них, которые чаще всего встречаются при патологии мозжечка.

Проба Ромберга. Испытуемый должен устойчиво поддерживать вертикальную позу, стоя с закрытыми глазами, сдвинутыми вместе ступнями и вытянутыми перед собой руками. Например, при проведении этой пробы у больного с патологией мозжечка отмечается отклонение тела в сторону пораженной доли. То есть у обследуемого человека мы фиксируем *астазию* (см. вопрос 57). В клинике эту пробу проводят в разных модификациях.

Исследование походки. Например, при мозжечковых расстройствах человек ходит, пошатываясь на широко расставленных ногах (*абазия*).

Пальце-носовая проба. Испытуемому предлагают дотронуться до кончика своего носа попеременно указательными пальцами левой и правой руки. При патологии мозжечка рука, которой больной «промахивается», то есть не попадает в кончик носа, указывает на сторону поражения. Таким способом исследуется способность человека координировать свои движения.

Пяточно-коленная проба. Используется для исследования координации работы мышц нижних конечностей. В этом случае лежащий на спине человек должен поднять одну ногу и пятку ее опустить на надколенник другой ноги, а затем провести ее по передней поверхности голени, не смещаясь ни влево, ни вправо.

Стабилография (стабилometрия). Метод, позволяющий оценить способность человека поддерживать состояние равновесия в вертикальной позе (более подробное знакомство с этим методом состоится на практическом занятии).

63. Каковы возрастные особенности формирования позы тела и механизмов поддержания равновесия тела в раннем детском возрасте?

Новорожденный имеет характерную позу тела с повышенным тонусом мышц-сгибателей, которая имеет важный биологический смысл. За счет ее происходит усиленный термогенез и уменьшаются процессы теплоотдачи.

Однако у новорожденного не сформированы антигравитационные механизмы, и он не может поддерживать вертикальную позу. В связи с постепенным созреванием структур центральной и периферической нервной системы у новорожденного *последовательно формируются три антигравитационные позы, по срокам формирования которых можно судить о нормальном физическом развитии ребенка.*

Первая антигравитационная поза. В возрасте 2-3 месяца ребенок, лежа на животе, самостоятельно отрывает голову от подушки («держит голову») и поддерживает ее в вертикальном состоянии достаточно долгое время.

Вторая антигравитационная поза. В возрасте 5-6 месяцев ребенок самостоятельно садится в кроватке и играет игрушками, поддерживая вертикальную позу туловища.

Третья антигравитационная поза. В возрасте 11-12 месяцев ребенок самостоятельно встает на ноги и делает первые шаги, поддерживая полноценную вертикальную позу, характерную для взрослого человека.

Следует отметить, что ускорять формирование этих поз ни в коем случае нельзя (наильно сажать ребенка, поддерживая его со всех сторон подушками, преждевременно ставить ребенка на ноги!), так как это может привести к нарушению формирования скелета, а значит, к нарушению формирования двигательных функций. *Важно помнить, что в связи с формированием двигательных функций параллельно им идет формирование других физиологических систем (сердечно-сосудистой, дыхательной, системы крови и др.)*

64. Каковы возрастные особенности формирования позы тела и механизмов поддержания равновесия тела в пожилом и старческом возрасте?

В старческом возрасте отмечаются возрастные изменения в состоянии опорно-двигательного аппарата (снижение регенерационной способности, прогрессирующая атрофия, потеря силы и эластичности мышц; избыточная минерализация и ломкость хрящевой ткани и др.). В нервной системе также отмечается прогрессирующая гибель нейронов, снижение их возбудимости, нарушение механизма передачи возбуждения в синапсах и др.

Все перечисленные изменения в совокупности, безусловно, сказываются на двигательной активности человека. Снижается подвижность человека, быстрота и точность движений, поза человека становится более скованной, труднее удерживается состояние равновесия (этому способствуют и возрастные изменения в вестибулярном анализаторе).

Булыгин Алексей Николаевич
Колодина Ирина Геннадьевна
Назаров Сергей Борисович

НОРМАЛЬНАЯ ФИЗИОЛОГИЯ
В ВОПРОСАХ И ОТВЕТАХ

ФИЗИОЛОГИЯ ДВИЖЕНИЯ. УПРАВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЕМ.
МЕХАНИЗМЫ ПОДДЕРЖАНИЯ ТОНУСА СКЕЛЕТНЫХ МЫШЦ
И РАВНОВЕСИЯ ТЕЛА

Учебно-методические разработки
для иностранных студентов

Лицензия № 00637 от 05.01.2000 г.

Подписано в печать 11.04.2005г. Формат издания 60 x 84 1/16

Печать плоская. Уч.-изд. л. 2,6. Тираж 350 экз. Заказ

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального
образования «Ивановская государственная медицинская академия»

Министерства здравоохранения и социального развития
Российской Федерации

Отпечатано в ООО «ПолиПринт»

Россия, 153032, г. Иваново, ул. Станкостроителей, 12, офис 23.
тел.: 8-902-241-88-08, (0932) 45-38-71, факс: (0932) 29-48-35