Организация двигательного акта

Котова О.В.

ДВИЖЕНИЕ

Взаимодействие человека и животных с окружающей средой осуществляется через целенаправленную деятельность - поведение. Двигательный акт является элементом поведения.

Двигательный акт – реализуется с помощью моторной программы. Элементарное движение представлено сокращением/расслаблением мышечных единиц, вызываемых стимуляцией мотонейрона. (Одна и та же программа может быть выполнена с помощью разного набора элементарных движений – например: правой и левой рукой).

Двигательная активность – понятие, характеризующее объем и интенсивность мышечной деятельности за определенное время.

Двигательный (кинестетический) анализатор

ДА - нейрофизиологическая функциональная система, осуществляющая анализ и синтез состояния двигательного аппарата организма: положение и перемещение тела в пространстве; состояние степени и быстроты напряжения и расслабления мышц.

Осуществляется:

1). Анализ импульсов, поступающих от проприорецепторов.

2). Возбуждение проприорецепторов происходит при растяжении мышц и сухожилий, натяжении суставных сумок верхних и нижних конечностей.

3). Импульсы от проприорецепторов поступают в кору головного мозга (в переднюю и заднюю центральную извилины), где осуществляется анализ состояния двигательного аппарата в данный момент времени.

4). Анализ осуществляется при помощи сигналов, поступающих от вестибулярной системы и от кожи.

Классификация движений:

4

1). По ***изменению взаимного положения частей тела:*** сгибание – разгибание

2). По ***функциональному значению*** движений – ориентировочные, ударные, нажимные и т.д.

3). По морфофункциональной организации – дыхательные, мышечные и т.д.

4). По ***целевым*** функциям – поддержание определенной позы; ориентация на источник внешнего воздействия; перемещение в пространстве; манипулирование.

5). По ***степени осознанности*** – произвольные (условно-рефлекторные), непроизвольные (безусловно-рефлекторные).

Произвольные движения регулируются осознанно, осуществляются при участии всех уровней головного мозг, связаны с формированием различных двигательных программ.

Непроизвольные движения осуществляются автоматически и неосознанно. Поддержание позы, регуляция работы антигравитационных мышц.

Классификация движений:

6). По уровню организации – простые, сложные.

Простые движения - осуществляются с участием одного сустава, координация которых осуществляется при участии низшего уровня организации.

Сложные движения – осуществляются при участии двух и более суставов.

7). По принципу программирования – быстрые, медленные.

Быстрые движения баллистического типа завершаются раньше, чем к соответствующим центрам мозга успевает придти информация от двигательных аппаратов.

Медленные движения – постоянно корректируются по ходу выполнения за счет информации, поступающей на все уровни мозга от рецепторов мышц и суставов.

Принципы управления движением

- принцип сенсорных коррекций – (медленные движения)
- принцип прямого программного обеспечения (быстрые движения)

Роль обратной связи в управлении движениями

Регуляция произвольных движений

Одним из основных принципов в механизмах координации двигательных реакций является циклическая нервная связь, в которой афферентная информация обеспечивает форму и состав эфферентного проявления центральной интеграции (А.С.Батуев, 2008).

Ч. Белл – установил наличие нервного круга меду мышцами и мозгом: информация от мышц к мозгу, и информация от мозга к мышцам.

- Ч. Шеррингтон – ввел понятие проприорецепции – рецепторы мышц, сухожилий и суставов.
- П.К. Анохин – понятие обратной связи, обратной афферентации.
- ***Функции, связанные с мышечной активностью***
  - поддержание позы
  - ориентация на источник внешнего сигнала (двигательный компонент ориентировочной реакции, глазодвигательные реакции
  - локомоция – перемещение тела в пространстве
  - манипуляция – оперантные движения конечностями

Связь движения и обратной связи

- 1. Быстрые движения баллистического типа относительно независимы от сигналов обратной связи.
- 2. Медленные движения – в значительной степени зависят от сигналов обратной связи.
- 3. Движения, базирующиеся на врожденных координациях, в меньшей степени требуют обратной связи от локомоторного аппарата
- 4. Движения, в основе которых лежит формирование новых координаций, зависят от соматической афферентации с двигательного аппарата.

Функциональная схема организации двигательного акта (теория функциональных систем П.К.Анохина)

1) Двигательный акт начинается на стадии **афферентного синтеза** - содержание его определяется: мотивационным возбуждением, памятью, обстановочной и пусковой афферентацией.

- а) Поступающая информация сравнивается с доминирующей в данный момент мотивацией.
- б) Пусковую афферентацию представляет возбуждение, создаваемое в сенсорных системах биологически значимыми стимулами. Способность пусковых стимулов инициировать двигательный акт зависит от обстановочной афферентации

Обстановочная афферентация включает возбуждение от стационарной обстановки последовательность афферентных возбуждений.

В процессе афферентного синтеза задействован аппарат ***памяти*** (извлечение тех фрагментов прошлого опыта, которые могут быть полезны для будущего поведения).

- Стадия афферентного синтеза – характеризуется тем, что программа действия сформирована, но действие еще не реализовано.

2) ***Стадия принятия решения*** – определяет тип и направленность поведения. Реализуется через формирование аппарата акцептора результата действия, который программирует результаты будущих событий.

В аппарате акцептора результата действия – актуализирована врожденная и приобретенная память организма в отношении объектов, которые способны удовлетворить возникшую потребность, и выбирается способ действия для достижения или избегания объекта.

3). ***Стадия реального выполнения программы действия*** предполагает его реализацию под влиянием афферентного возбуждения, достигающего исполнительных органов.

- Благодаря работе аппарата акцептора результата действия и эфферентного синтеза ***организм может сравнить ожидаемые результаты действия с поступающей информацией о реальных результатах*** и параметрах ожидаемого движения.

Результаты сравнения определяют последующее построение двигательного акта. Если конечный результат достигнут – действие либо корректируется, либо прекращается. ***Двигательный акт завершается удовлетворением потребности.***

Уровни организации движений

4. Уровень целенаправленных движений – фронтальные области коры
3. Уровень синтетического сенсорного поля – моторные и сенсомоторные области коры
2. Уровень организации синергий (синергии обеспечивают правильное чередование мышц при ходьбе и беге) – мозжечок и стриатум
1. Уровень простых рефлекторных движений – спинной мозг, ствол мозга

Стратегия и тактика движений

Организация целенаправленного действия включает в себя формирование программы действия

Мотивация определяет общую ***стратегию движения:*** запуск врожденных программ, либо формирование новых программ. Удовлетворение потребности выступает в качестве обратной афферентации. Поэтому выбранная стратегия движения должна быть адаптивной по отношению к доминирующей мотивации.

Программа движения определяет его план.

Тактика движения определяет, как будет осуществляться требуемое движение. Тактику движения определяет двигательная команда. ***Двигательные команды*** должны быть адаптивны по отношению к функциональному состоянию скелетно-двигательного аппарата как непосредственного исполнителя этих команд (этапная афферентация).

Биологически мотивированная стратегия (цель движения), соответствующая программа конкретного движения, иерархически построенные центральные команды и система идентификации состояния мышечного аппарата представляют собой важнейшие звенья организации движения, каждое из которых корректируется соответствующими обратными связями.

Понятие рефлекса и рефлекторной дуги

Рефлекс – ответная реакция организма на раздражение.

- Рефлексом называется «машинообразный» ответ организма на какое-либо воздействие, которое реализуется в форме последовательного возбуждения цепочки элементов, составляющих рефлекторную дугу.

Рефлекторная дуга включает

Рецептор (сенсор)

Афферентный путь

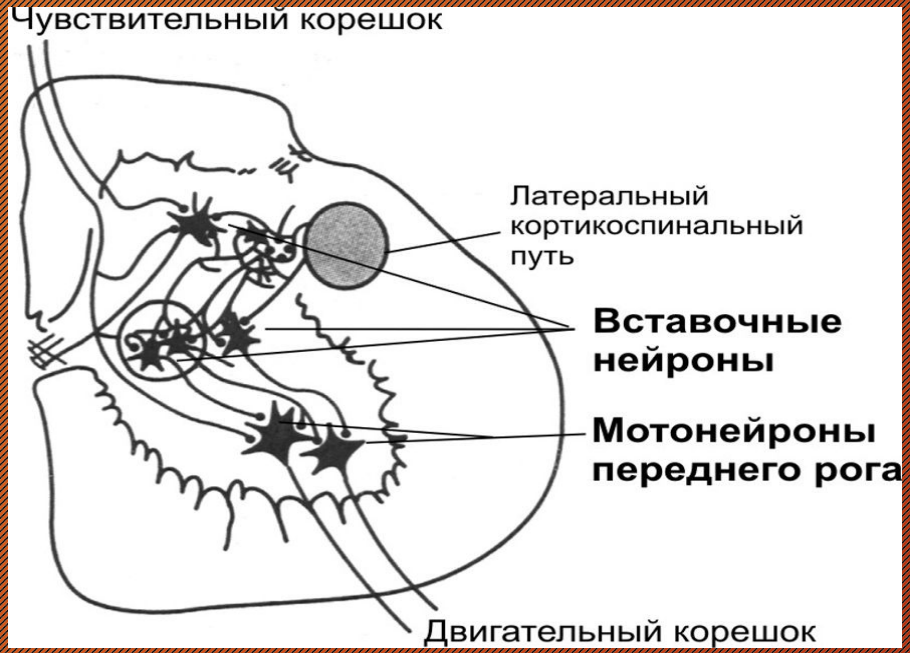
Центрального звено

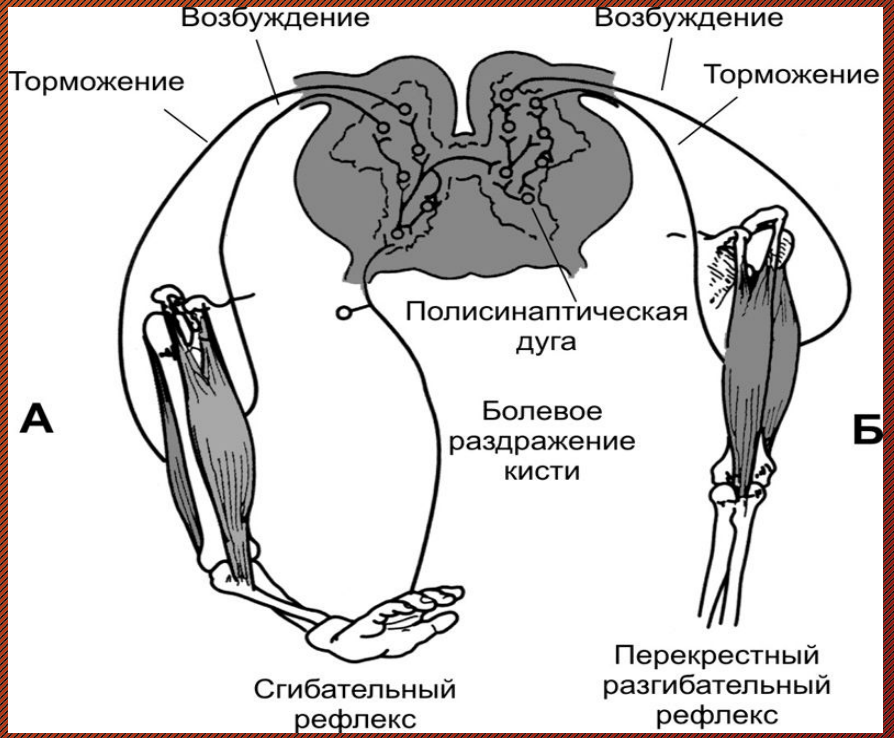
Эфферентный путь

Эффектор = Рабочий орган

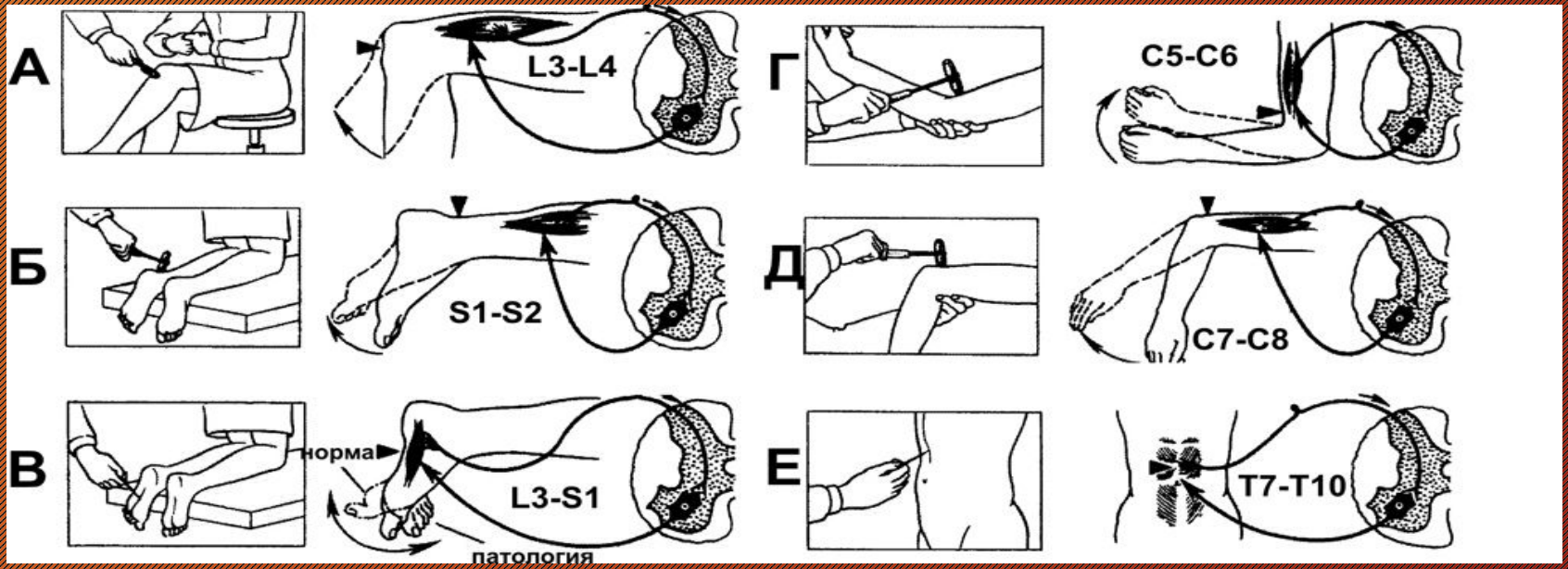
Моно- и полисинаптические рефлексы

Все рефлексы, у которых число синапсов в ЦНС больше единицы – называют *ПОЛИСИНАПТИЧЕСКИМИ*.





Моно- и полисинаптические рефлексы



Рефлексы спинного мозга. А — коленный рефлекс; Б — ахиллов рефлекс; В — подошвенный рефлекс (рефлекс Бабинского); Г — сгибательный рефлекс предплечья; Д — разгибательный рефлекс предплечья; Е — брюшной рефлекс.

Комплексы фиксированных действий (КФД)

КФД - ряд стереотипных двигательных актов, которые образуют высокоорганизованную поведенческую последовательность. Выполнение этих действий автоматизировано. В ходе онтогенеза происходит уточнение, дифференцировка «узнавания» тех раздражителей, которые в дальнейшем будут запускать сложные поведенческие акты.

- ***КФД*** – не связаны с индивидуальным опытом организма и осуществляются, практически, с первого раза
- Пример: Реакция закатывания яиц в гнездо у серого гуся. Гусь, приблизившись к яйцу, вытягивает к нему шею и дотягивается клювом до земли по другую сторону яйца. Совершая ряд стереотипных движений в вертикальной плоскости, гусь возвращает яйцо в гнездо.
- Замена яйца на искусственное, откатывание его в сторону, сохраняет комплекс стереотипных движений.
- Стимулы, запускающие ***КФД***, получили название «знаковых стимулов».
- Пример: самцы трехглавой корюшки – красное брюшко самца (признак самца своего вида) запускает агрессивную реакцию другого самца. Замена цвета – агрессии нет. Стимул – релизеры работают по принципу «ключ-замок».

Контроль позы и движений

Мотонейроны СМ и нейроны двигательных ядер черепных нервов – общий конечный путь к скелетным мышцам. На этих мотонейронах конвергируют сигналы из множества источников.

Нервные пути, конвергирующие к мотонейронам, выполняют три взаимосвязанных функции:

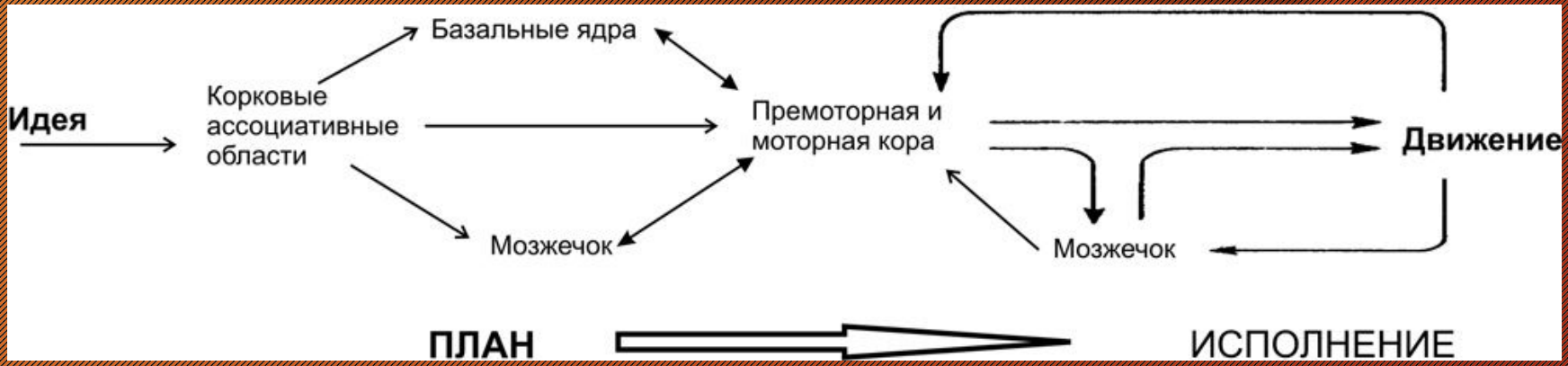
1) сигнализируют о произвольной активности

2).подготавливают позу тела к устойчивому состоянию для движения

3). координируют действия различных мышц для осуществления плавных и точных движений.

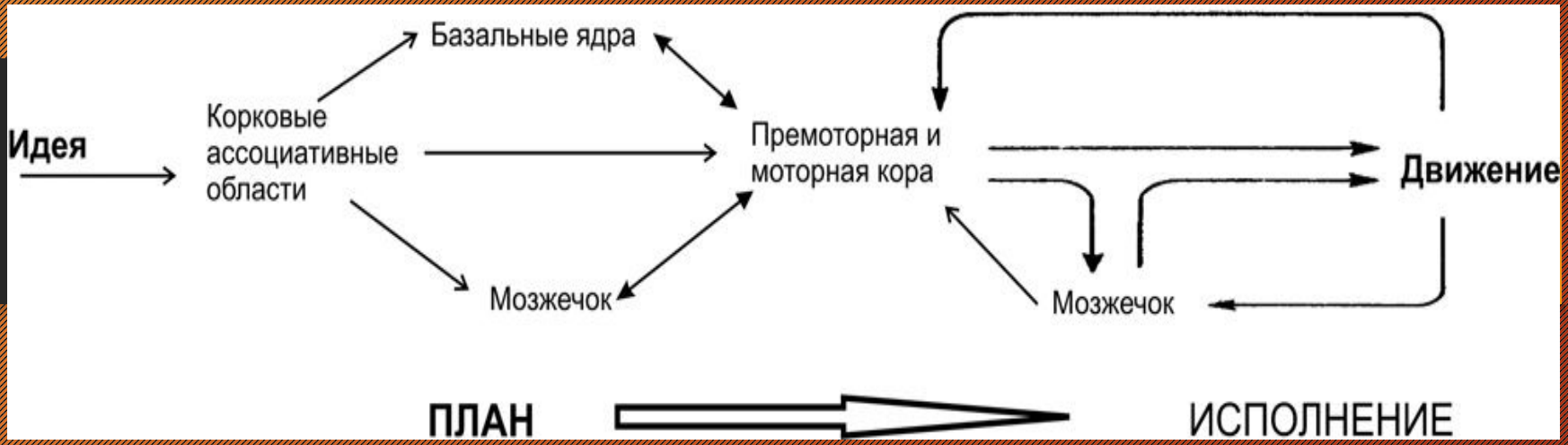
Программа произвольных движений формируется в структурах мозга, а команды поступают к мышцам по пирамидному пути.

Контроль позы и движений



Общая схема контроля произвольных движений (взаимодействия между основными структурами ЦНС в ходе осуществления произвольных движений).

Команды для произвольного движения исходят из ассоциативной области коры. В планировании принимают участие базальные ядра и латеральная часть мозжечка. Эти структуры через таламус передают информацию премоторной и моторной областям коры. Моторная кора посылает сигналы по кортикоспинальному и кортикобульбарному трактам.



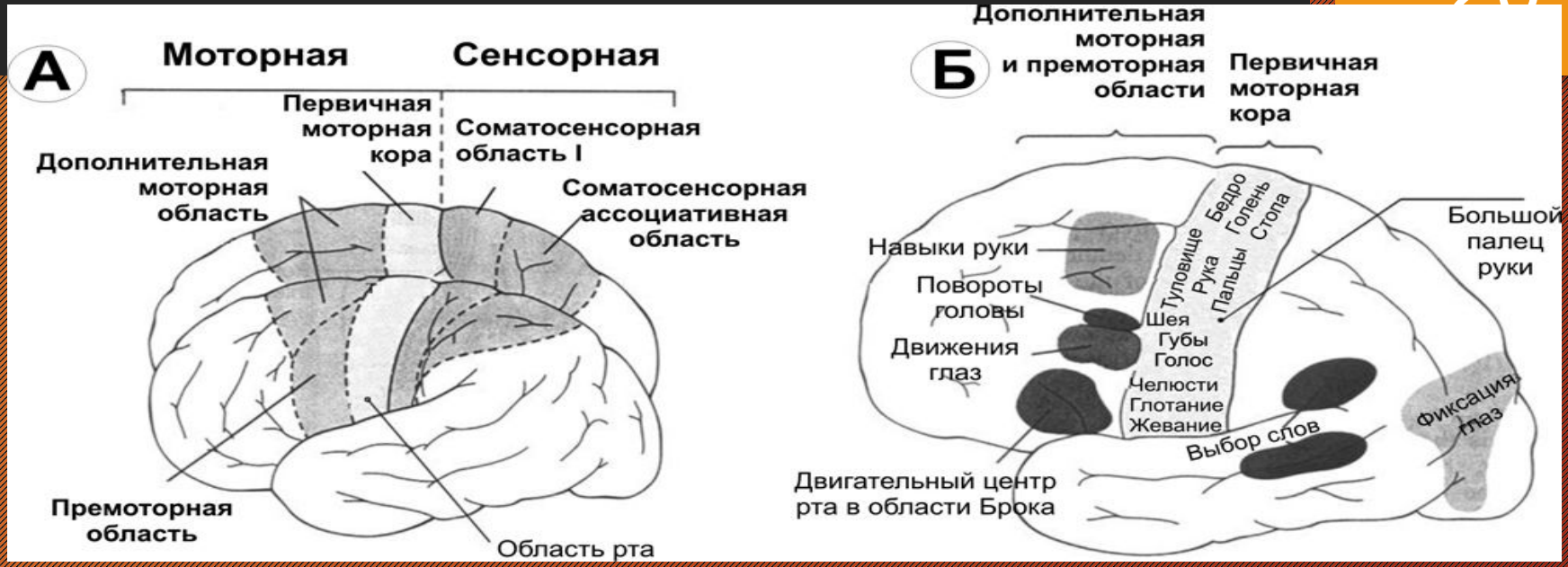
Движения вносят коррективы в сенсорные посылки от мышц, сухожилий и суставов, которые посредством обратной связи поступают к коре больших полушарий и мозжечку.

Из мозжечка информация поступает в ствол мозга, где проецируется на пути, имеющие отношение к позе и координации: красноядерно-спинномозговой, бульборетикуло-спинномозговой, крыше-спинномозговой и преддверно-спинномозговой тракты.

Поза постоянно корригируется перед началом и во время движения: движения координируются мозжечком и его связями.

Базальные ядра и латеральная часть мозжечка имеют обратную связь с премоторной и моторной корой, участвуя в планировании и организации произвольного движения.

Моторная кора

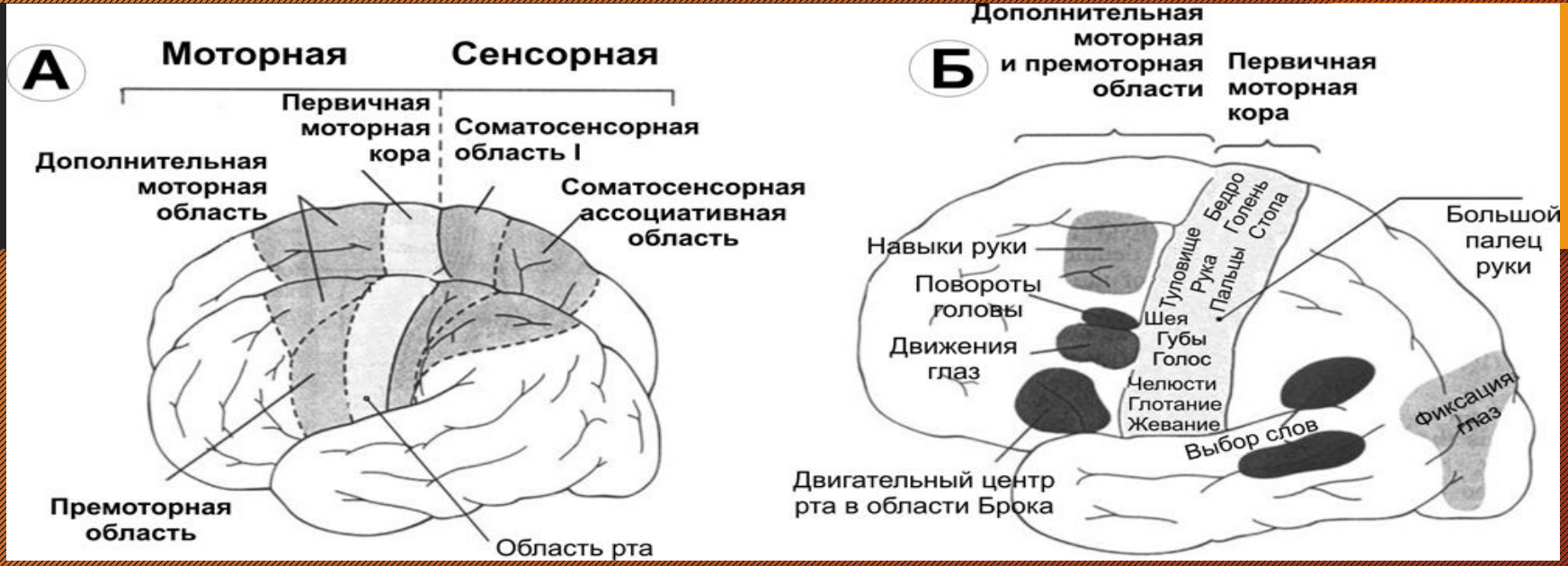


В ***первичной моторной коре*** представлены сверху вниз (на рисунке) области тела: от стопы до головы.

Премоторная область располагается кпереди от первичной моторной коры, наиболее латерально располагаются зоны лица и рта, далее вверх к продольной щели — кисть, рука, туловище и нижние конечности. В премоторной области генерируются сложные спектры движений (например, движения плеча, руки, особенно кисти).

- Кисть точно ориентирована для выполнения специфической работы. Чтобы достигнуть такого результата, ***передняя часть премоторной области*** формирует «***двигательный образ***» всех мышечных движений, которые должны осуществляться.
- Затем этот образ возбуждает каждый последовательный спектр мышечной активности в ***задней премоторной коре***, требующийся для достижения «образа».
- ***Задняя премоторная кора*** посылает сигналы либо непосредственно в первичную моторную кору, возбуждая в итоге различные группы мышц, либо через базальные ядра - к первичной коре через таламус.

Таким образом, премоторная кора, базальные ядра, таламус образуют комплексную систему контроля и координации мышечной активности тела.



- Дополнительная моторная область располагается в продольной щели и функционирует совместно с премоторной областью, обеспечивая
- движения, ***поддерживающие осанку,***
- ***фиксацию движений различных сегментов тела, позиционные движения головы и глаз ,***
- ***базу для тонкого моторного контроля кистей рук премоторной областью и первичной моторной корой.***

Специализированные области коры относящиеся к двигательной функции

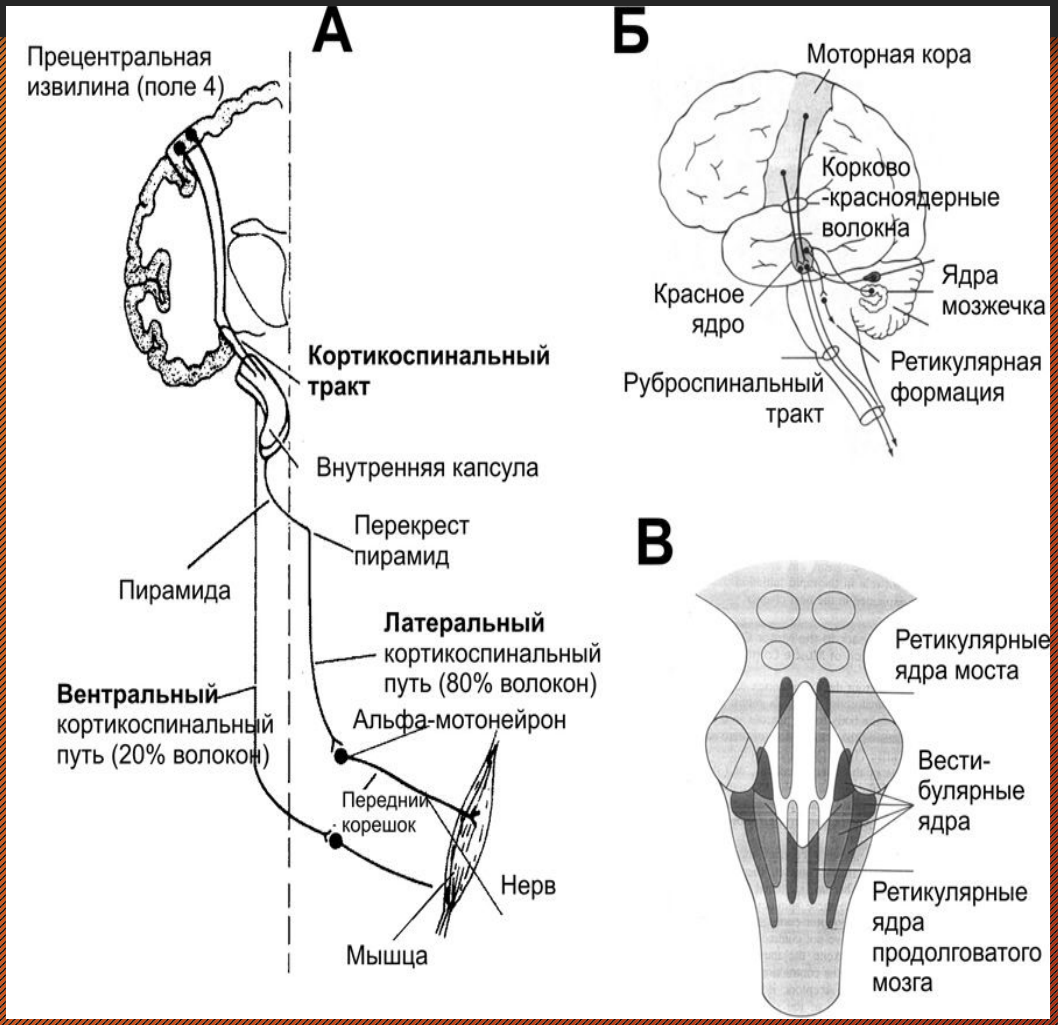
1. Центр формирования речи - **область Брока.** Расположен непосредственно перед первичной моторной корой выше сильвиевой борозды.
- Повреждение - не лишает человека способности произносить звуки, но приводит к утрате способности к осмысленному произнесению слов.
- Рядом расположенные корковые области управляют дыхательной активацией голосовых связок и движениями рта и языка во время разговора.

2. ***Центр произвольного движения глаз.*** Над областью Брока располагается участок, контролирующий произвольные движения глаз. Повреждение этого участка лишает человека способности смещать глаза в направлении различных объектов.

3. ***Центр вращения головы*** - рядом с центром, контролирующим движения глаз, этот центр направляет голову в сторону объектов.

4. ***Центр целевого движения кисти*** - кпереди от первичной моторной коры. Повреждение этого центра делает движения кисти некоординированными и бессмысленными (моторная апраксия).

Двигательные пути мозга



А. Кортикоспинальный (пирамидный) тракт.

Б. Кортикоруброспинальный путь моторного контроля.

В. Расположение ретикулярных и вестибулярных ядер в стволе мозга.

Основные пути:
Восходящие проводящие пути СМ

Пути несут импульсы от рецепторов, воспринимающих информацию из внешнего мира и внутренней среды организма.

В зависимости от вида проводимой чувствительности:

ЭКСТЕРО-, ПРОПРИО- ИНТЕРОЦЕПТИВНОЙ чувствительности

1). Тонкий пучок (Голля) – 2) Клиновидный пучок (Бурдаха)

Проводится информация тонко дифференцированной чувствительности, позволяющая определить локализацию и контур раздражения и его изменение по времени. Скорость проведения – 60-100 м/с.

3). Латеральный спиноталамический тракт - Проведение тактильной чувствительности Скорость проведения –1-30 м/с.

4). Вентральный - спиноталамический тракт Болевая и температурная чувствительность. Скорость проведения –1-30 м/с.

5). Дорсальный спиномозжечковый тракт - Скорость проведения –110 м/с.-Передается информация от рецепторов мышц и связок конечностей.

6). Вентральный спиномозжечковый тракт - Импульсы - от сухожильных, кожных и висцерорецепторов. Участвует в поддержании тонуса мышц для выполнения движения и сохранения позы

Основные нисходящие пути

Эти пути связывают высшие отделы ЦНС с эффекторными нейронами СМ.

1). Пирамидный - Основная функция: Передача импульсов при выполнении произвольных движений. Скорости проведения от 1 до 100 м/с. Наиболее развит у человека.

2). Руброспинальный - Передает импульсы от мозжечка, ядра вестибулярного нерва, полосатого тела. Управление тонусом мышц, 2. Управление непроизвольной координацией движений.

- В эволюции возник рано. Лучше развит у животных по сравнению с человеком.

3). Вестибулоспинальный - Регуляция тонуса мускулатуры, согласованности движений, РАВНОВЕСИЯ

- ***При нарушении целостности пути:***
- 1.расстройство координации движений
- 2. расстройство ориентации в пространстве

- Для координации мышечной активности базальные ядра, мозговой ствол и мозжечок постоянно получают сигналы из моторной коры и передают их в спинной мозг.

Красное ядро среднего мозга функционирует во взаимодействии с кортикоспинальным трактом, имея тесные связи с моторной корой , мозжечком, ретикулярной формацией, оливами.

- В гигантоклеточной части красного ядра (как и в моторной коре) представлены все мышцы тела.

Ствол мозга состоит из продолговатого мозга, моста и среднего мозга и содержит двигательные и чувствительные ядра, исполняющие моторные и сенсорные функции для лица и головы. В контроле над движениями тела и его равновесием важную роль играют ***вестибулярные и ретикулярные ядра ствола мозга***.

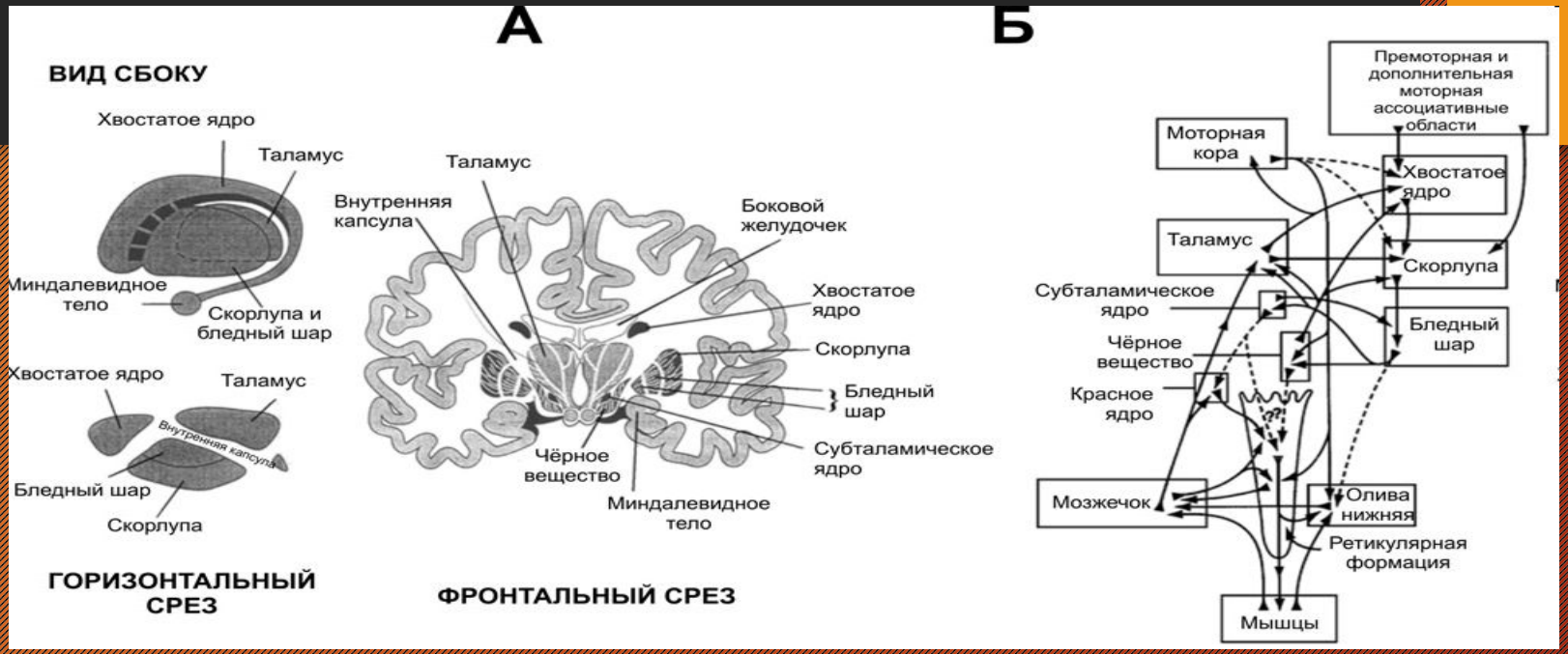
Базальные ядра

- БЯ- сложный комплекс с огромным количеством связей, обеспечивающий координацию двигательных функций. Важное место, определяющее физиологическую роль базальных ядер, занимают две нейронных системы — скорлупы и хвостатого ядра.
- Основная функция — контроль комплексных стереотипов моторной деятельности (например, написание букв алфавита).

При повреждениях базальных ядер, кора больших полушарий не может обеспечить нормальное поддержание этого комплексного стереотипа. Вместо этого воспроизведение уже однажды написанного становится затруднительным, как будто приходится учиться писать в первый раз.

Примером других стереотипов, которые обеспечиваются базальными ядрами, являются: разрезание бумаги ножницами, забивание гвоздя, копание лопатой земли, контроль движений глаз и голоса и другие хорошо отработанные движения.

Базальные ядра



А. Контроль приобретённых моторных навыков.

Б. Сознательное планирование движений.

Хвостатое ядро получает информацию из ассоциативных областей коры, которые интегрируют различные виды сенсорной и моторной информации, чтобы формировать программы стереотипных движений. Играет важную роль в сознательном (когнитивном) контроле двигательной активности. Большинство двигательных актов возникает в результате обдумывания их и сопоставлении с информацией, имеющейся в памяти.

Нарушение базальных ядер

- Базальные ядра совместно с корой больших полушарий контролируют два важных показателя — амплитуду движений и скорость изменений движения, т.е. у пациентов с поражением базальных ядер нарушена оценка скорости и размеров выполняемых движений.

1. Хорея - (от греч. choreia — хоровод, пляска) — устаревшее общее название хореического гиперкинеза и болезней, при которых этот синдром наблюдается.
2. Атетоз - (от греч. athetos — не имеющий определённого положения, неустойчивый; гиперкинез атетоидный) характеризуется непроизвольными медленными стереотипными, вычурными движениями небольшого объёма в дистальных отделах конечностей, нередко распространяющимися на проксимальные отделы конечностей и мышцы лица; возникает при поражении полосатого тела в области хвостатого ядра и скорлупы.
3. Гемибаллизм - (от греч. ballismos — подпрыгивание, пляска) — гиперкинез, характеризующийся размашистыми бросковыми и вращательными движениями в конечностях на стороне тела, противоположной поражению.

Нарушение базальных ядер

4. Акинезия — трудности в начале движений и уменьшение спонтанных движений.

5. Брадикинезия — замедление движений.

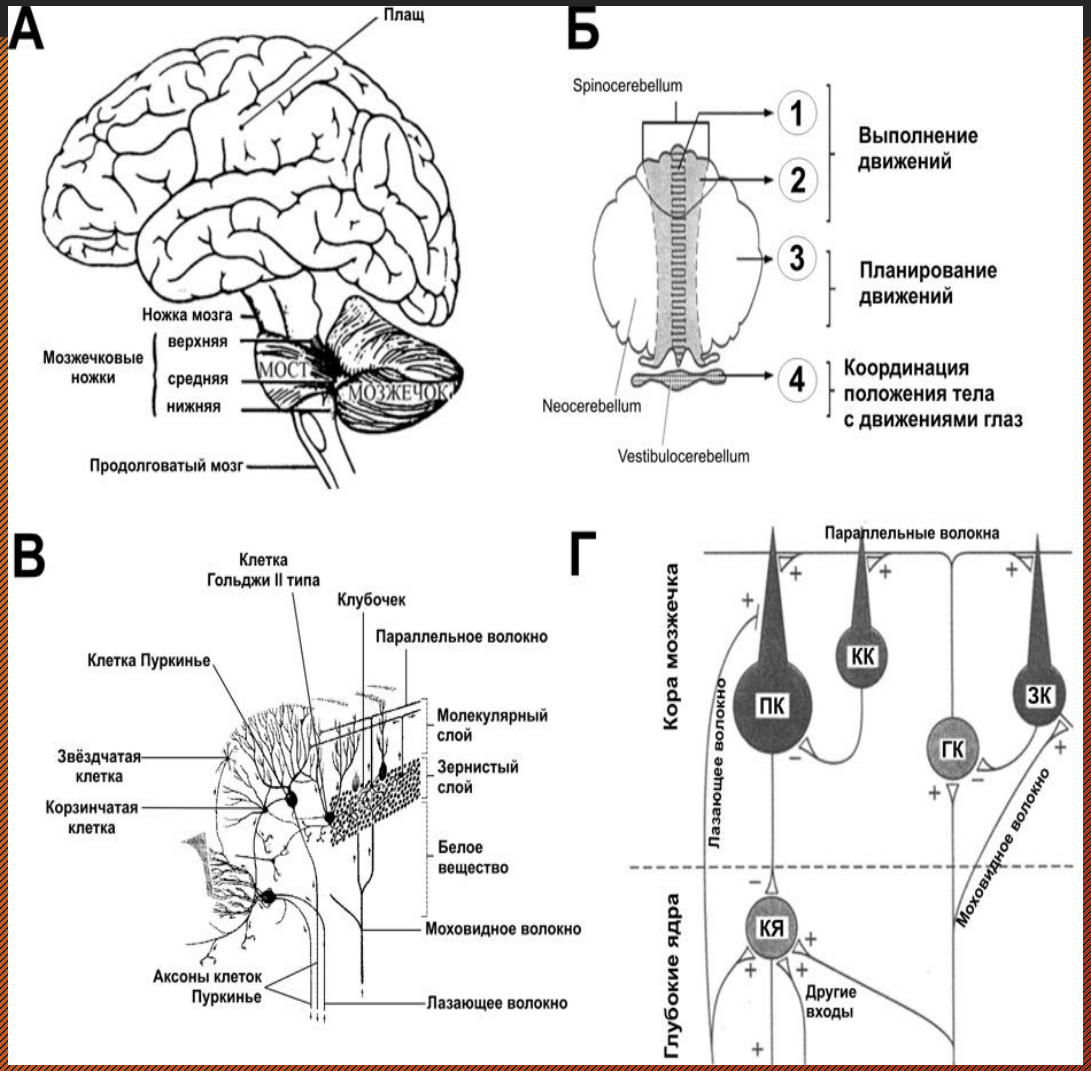
6. Болезнь Хантингтона характеризуется нарастающими гиперкинетическими, хореическими движениями. Речь пациента – невнятна, маловыразительна, прогрессирует деменция. При болезни Хантингтона происходит потеря ГАМК-ергических и холинергических нейронов полосатого тела.

7. Болезнь Паркинсона

Возникает в результате дегенерации дофаминергических нейронов чёрного вещества. Гипокинетические признаки болезни Паркинсона — акинезия и брадикинезия, гиперкинетические — ригидность и тремор (дрожательные движения).

Ригидность - увеличивается активность агонистических и антагонистических мышц. Тремор имеется в покое и исчезает во время активности. Тремор возникает в результате регулярных, чередующихся сокращений антагонистических мышц.

Мозжечок



А. Топография

Б. Функциональная анатомия

1 — медиальная нисходящая система,

2 — латеральная нисходящая система,

3 — к моторной и премоторной коре,

4 — к вестибулярным ядрам.

В и Г. Связи.

ПК — Пуркинье клетки,

КК — корзинчатые клетки,

ЗК — зернистые клетки,

ГК — Гольджи клетки,

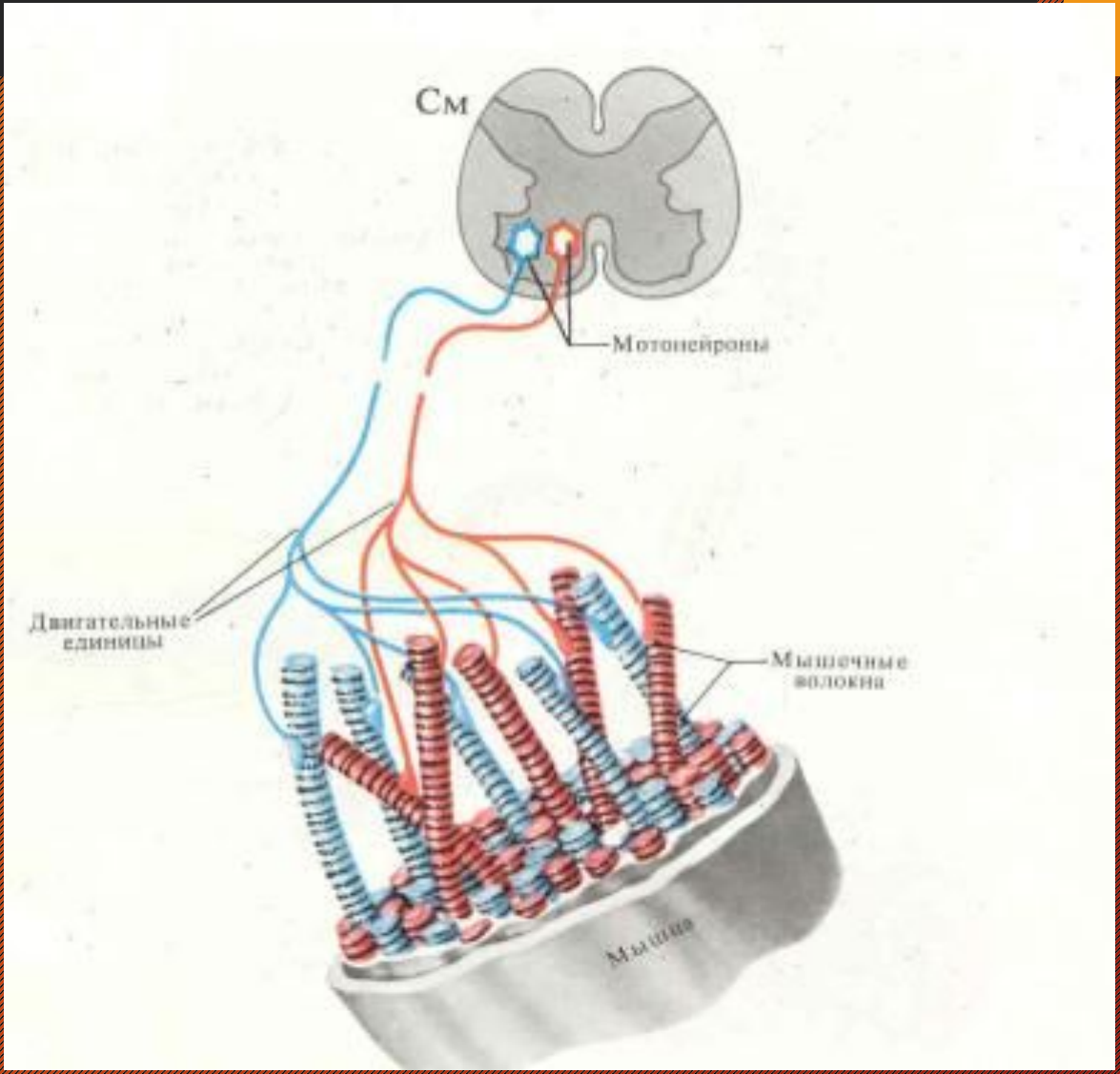
КЯ — клетки глубоких ядер.

Мозжечок в системе двигательного контроля

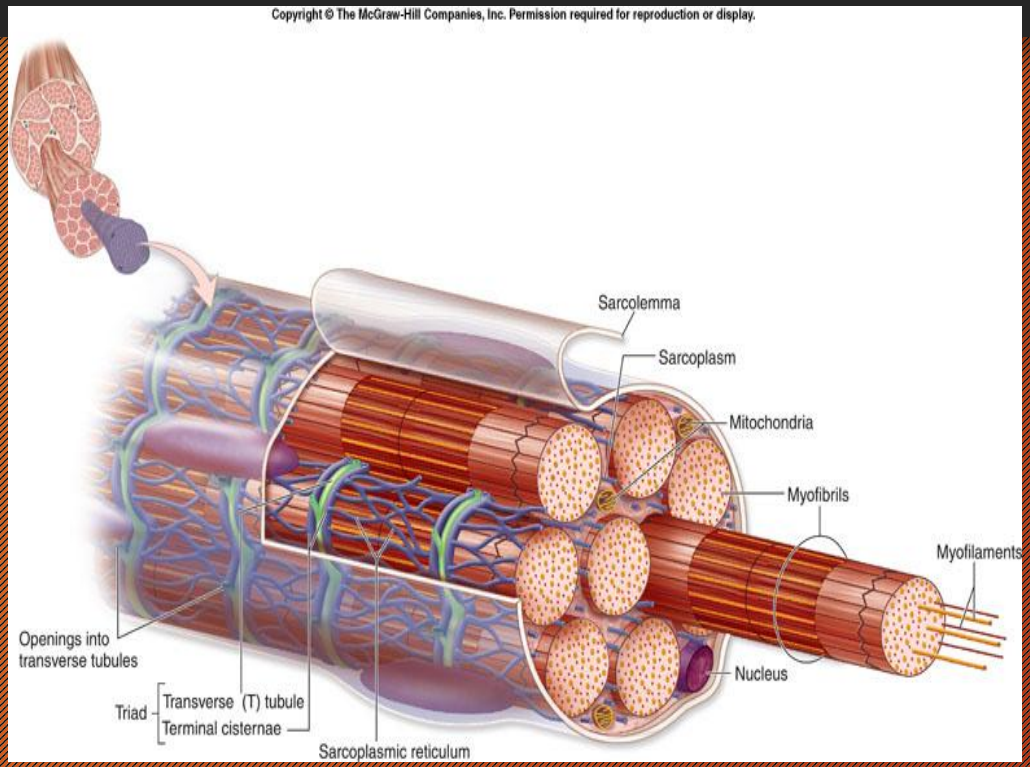
- В системе контроля и координации движений мозжечок принимает участие на трёх уровнях.

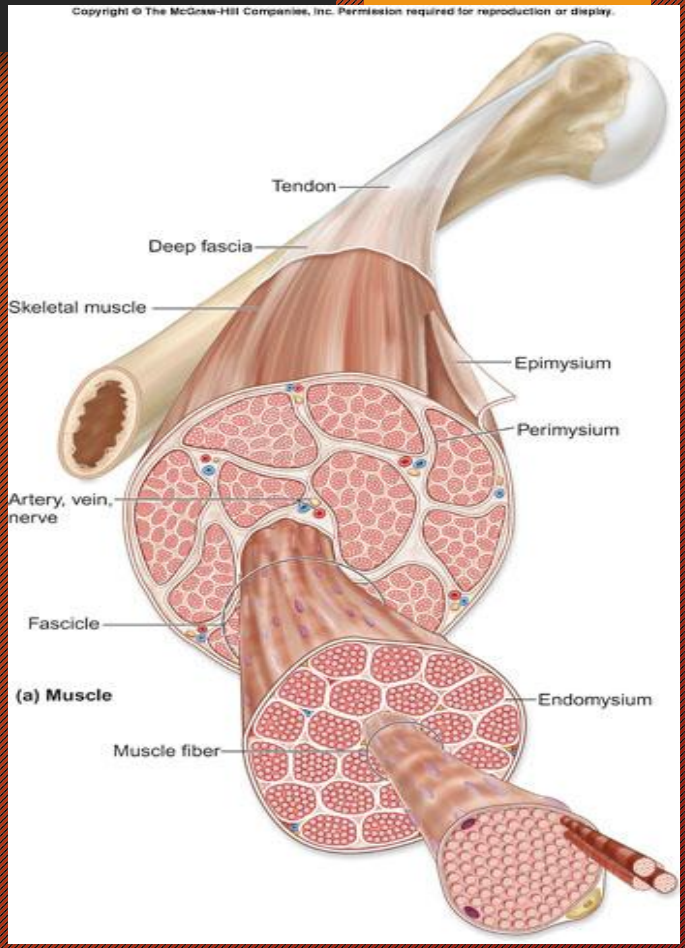
1. Vestibulocerebellum обеспечивает движения, необходимые для поддержания равновесия.
2. Spinocerebellum обеспечивает координацию главным образом дистальных отделов конечностей (особенно рук и пальцев рук).
3. Neocerebellum получает все связи из моторной коры и прилежащих областей премоторной и соматосенсорной зон мозга. Он передаёт сигналы обратно в большой мозг, планируя последовательность действий вместе с сенсомоторной областью и рассчитывая на десятки секунд вперёд будущие действия.

Строение моторной единицы



Строение скелетной мышцы





Физические свойства скелетных мышц

- 1. *Растяжимость* - способность мышцы изменять свою длину под действием растягивающей ее силы.
- 2. *Эластичность* - способность мышцы принимать свою первоначальную длину после прекращения действия растягивающей или деформирующей силы.
- 3. *Сила* мышцы. Она определяется максимальным грузом, который мышца в состоянии поднять и выражается в ньютонах или кг-силах.

Физиологические свойства скелетных мышц

- Возбудимость
- Проводимость
- Сократимость - способность мышцы изменять свою длину или напряжение в ответ на действие раздражителя.
- Лабильность - лабильность мышцы равна 200-300 Гц.

Режимы мышечных сокращений

Изотонический режим

Изометрический режим

Смешанный режим

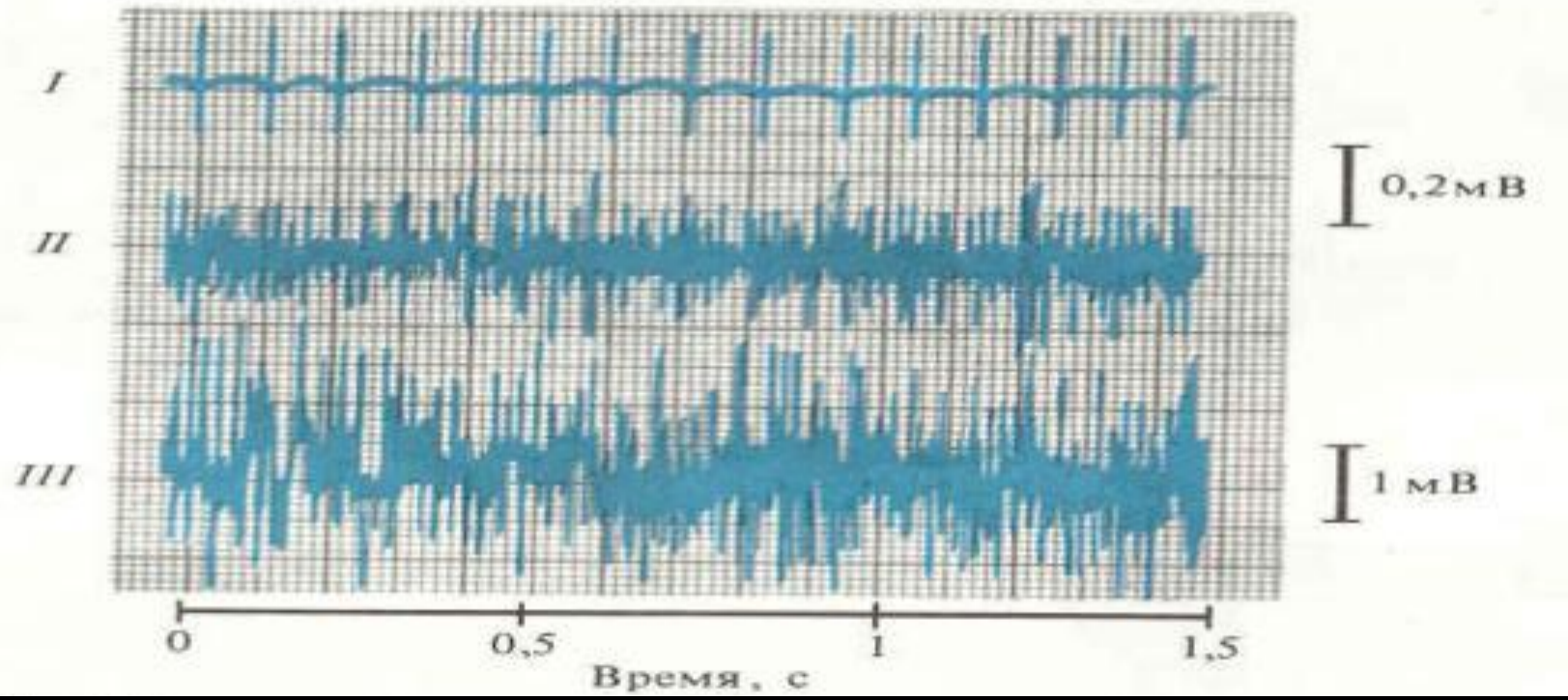
Сила мышц

- При изотоническом сокращении сила определяется массой максимального груза, который мышца может поднять (***динамическая сила***)
- при изометрическом - максимальным напряжением, которое она может развить (***статическая сила***). Изометрически сокращающаяся мышца развивает максимально возможное для нее напряжение в результате активации всех мышечных волокон.
- Отношение максимальной силы мышцы к ее анатомическому поперечнику называется ***относительной силой мышцы,*** измеряемой в кг/см2.
- Сравнительным показателем силы разных мышц является ***абсолютная мышечная сила*** - отношение максимальной силы мышцы к ее физиологическому поперечнику, т.е. максимальный груз, который поднимает мышца, деленный на суммарную площадь всех мышечных волокон. В процессе мышечной работы поперечник мышцы увеличивается и, следовательно, возрастает сила данной мышцы.

Сила мышц зависит :

- от длины мышцы (длинные мышцы сокращаются на большую величину, чем короткие);
- от степени растяжения мышцы (при сильном растяжении мышцы сила её снижается);
- от утомления мышцы;
- от числа мышечных волокон, составляющих мышцу;
- от площади их поперечного сечения.

ЭМГ при разной силе сокращения



Электромиограмма скелетной мышцы человека при разной силе сокращения:

I — потенциалы действия, генерируемые одной двигательной единицей, *II* — потенциалы действия, генерируемые несколькими двигательными единицами при небольшом напряжении мышцы, *III* — увеличение числа работающих двигательных единиц при нарастании напряжений

Работа мышц

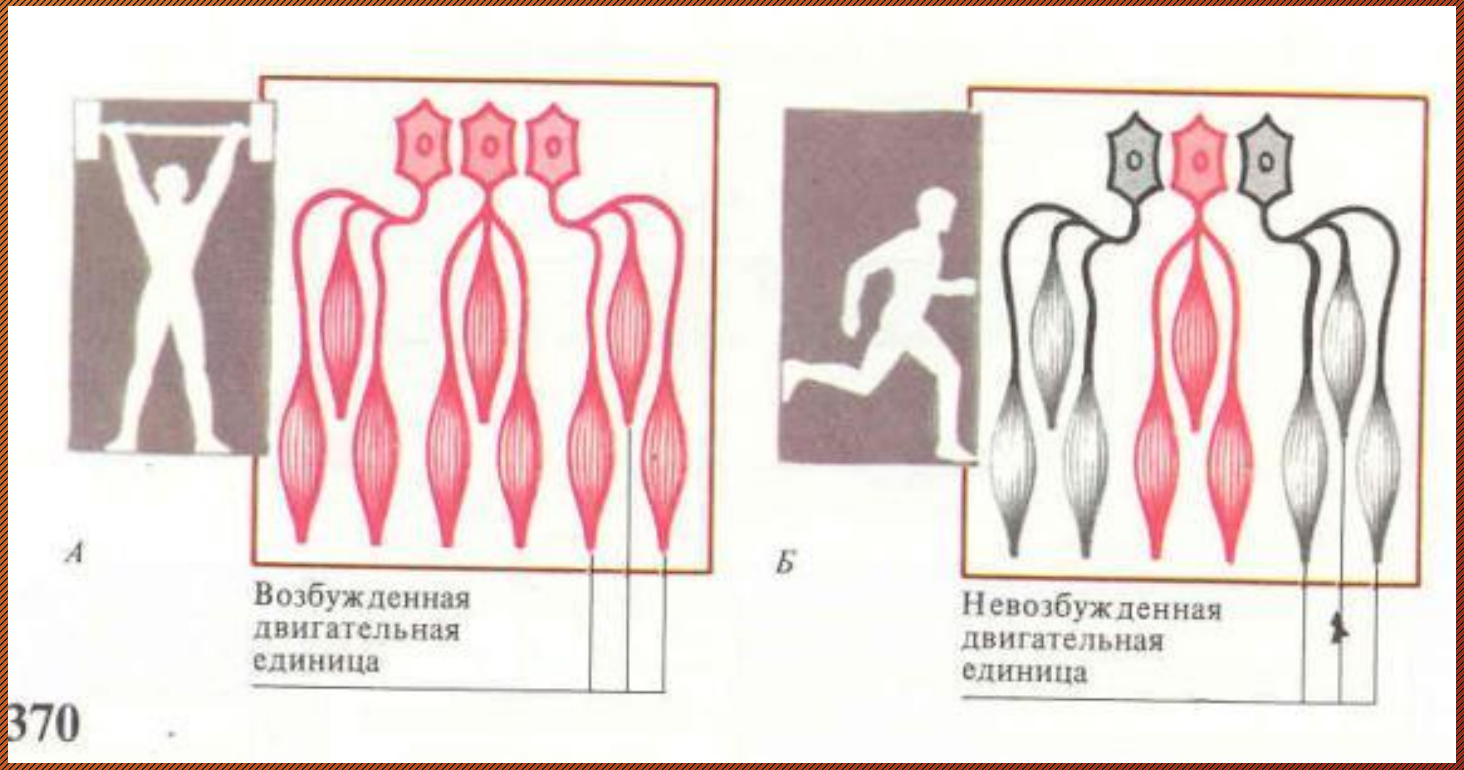
Произведение груза на величину укорочения мышцы: **A= P x h**; работа совершается при смешанном (ауксотоническом) режиме сокращения.

Наибольшая работа совершается при средних нагрузках (правило средних нагрузок)

Виды работы

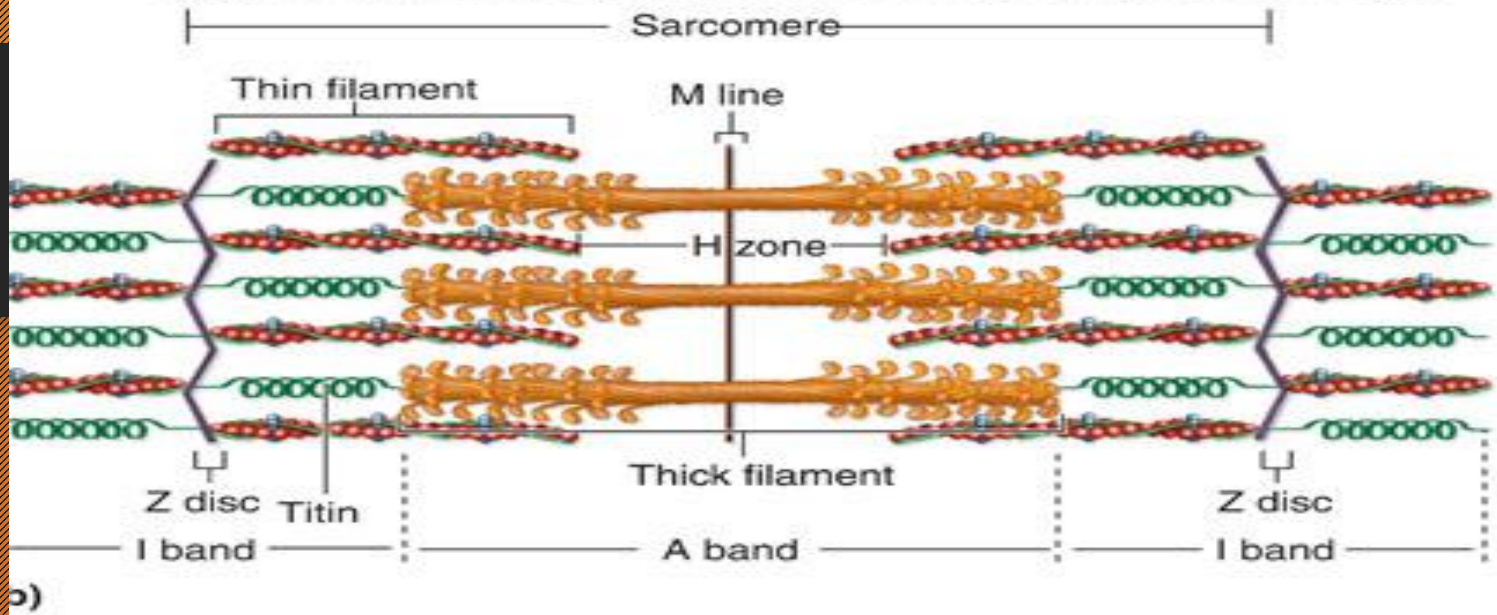
- Динамическая – работа при перемещении груза
- Статическая – при удержании груза
- Уступающая – при опускании груза
- Локальная – в работе участвует <1/3 мышц
- Региональная – участвует до 2/3 мышц
- Общая – выполняется более 2/3 мышц

Рис. 370. Характер функционирования двигательных единиц при разных видах нагрузки. *А* – одновременное функционирование; *Б* – поочередное

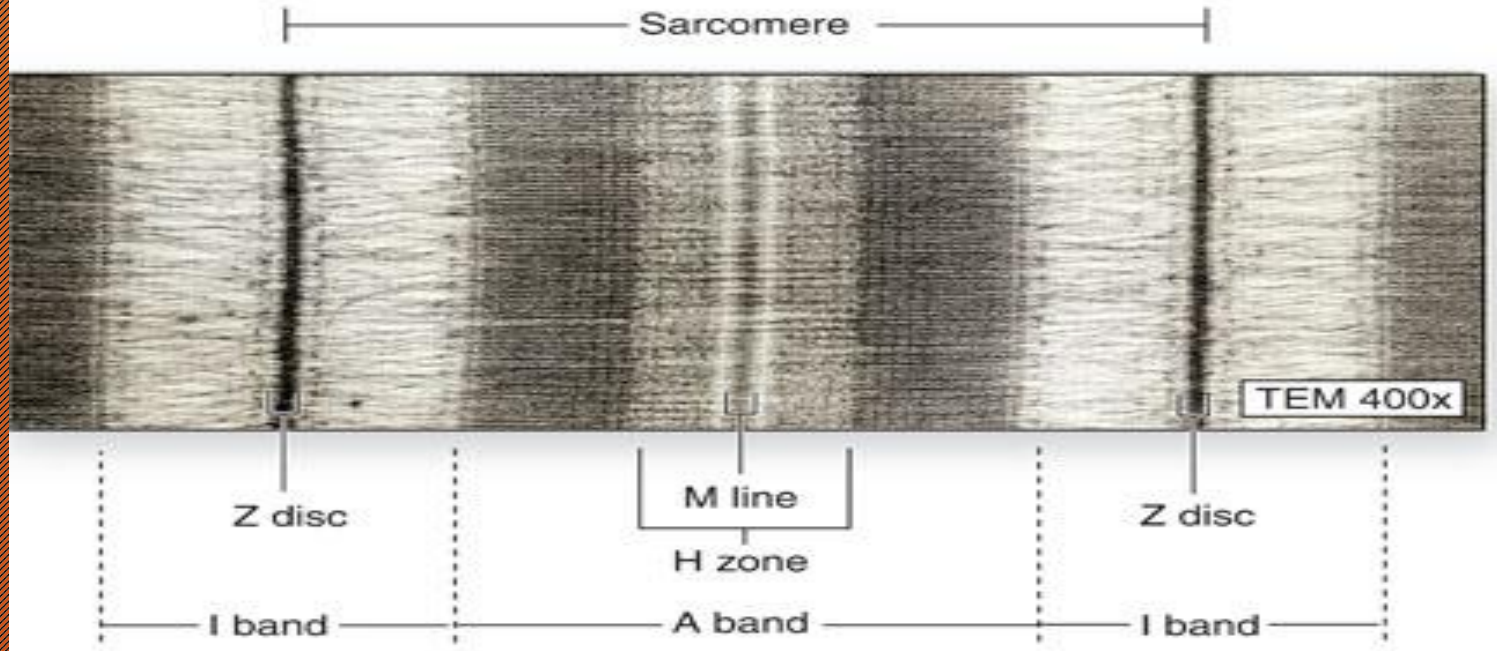


370

Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.

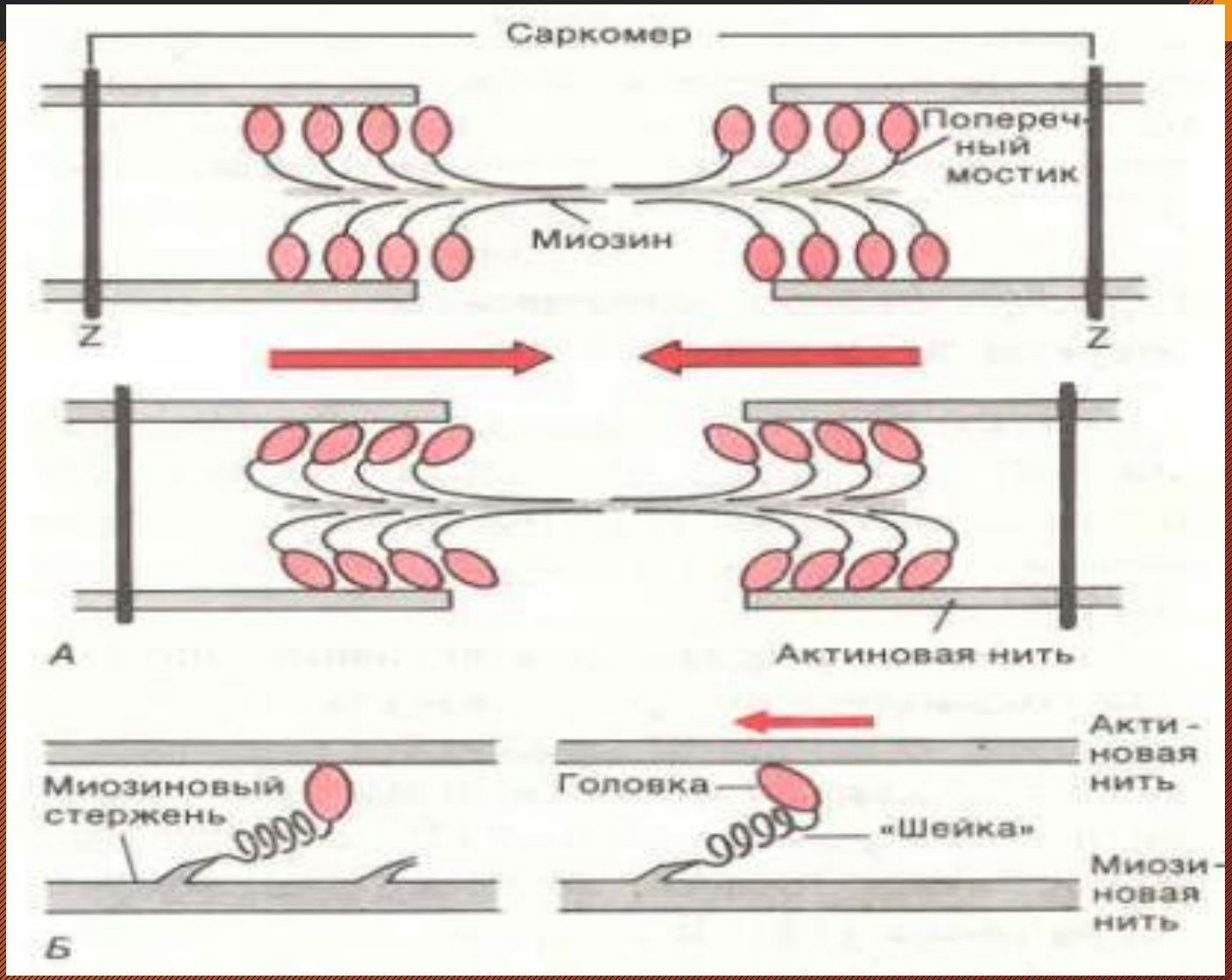


b)



c)

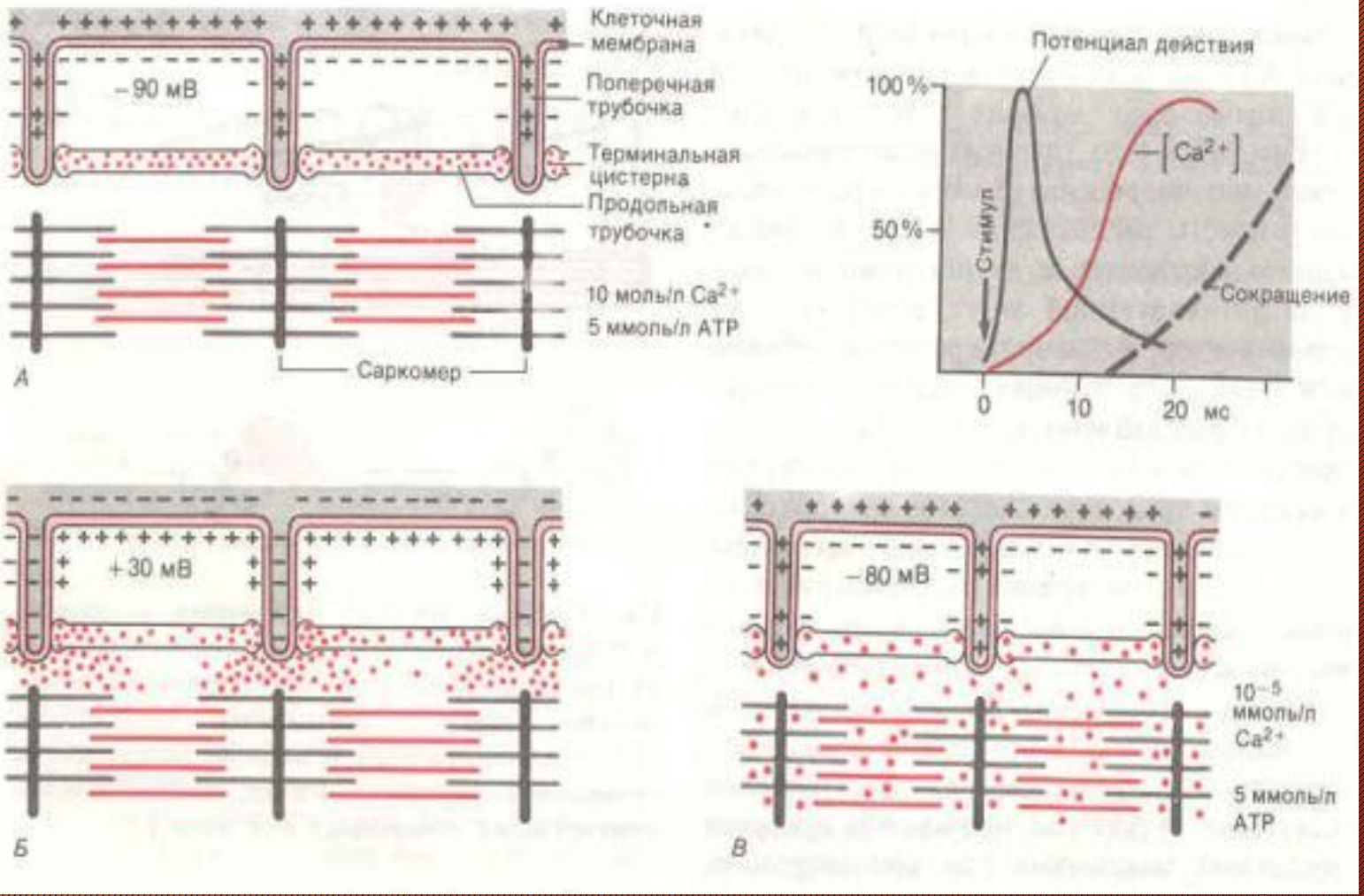
Поперечные мостики и механизм сокращения



Электромеханическое сопряжение (ЭМС)

- Сокращение – результат возбуждения мембраны мышечного волокна
- Передача сигнала о сокращении от возбужденной мембраны к миофибриллам в глубине волокна – **электромеханическое сопряжение -** состоит из нескольких последовательных процессов, ключевую роль в этом играют **ионы кальция**

Схема электромеханического сопряжения



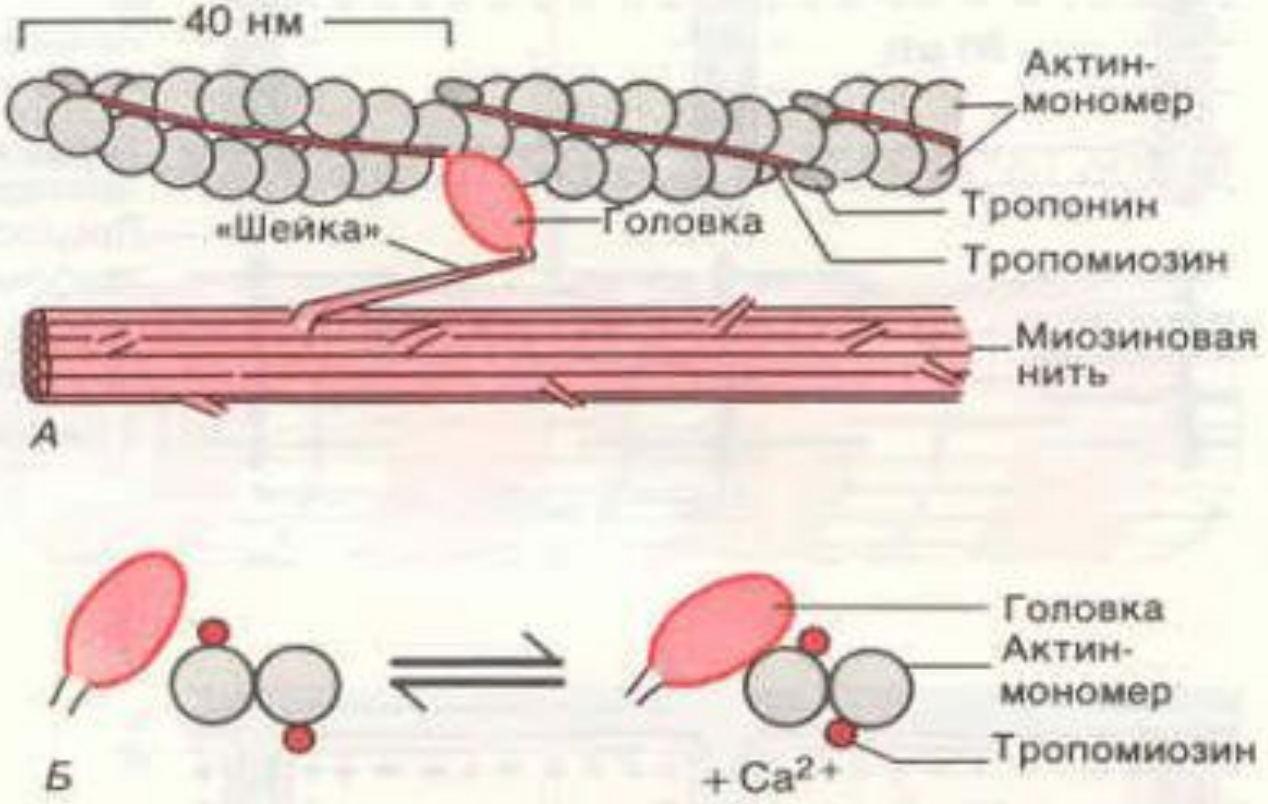


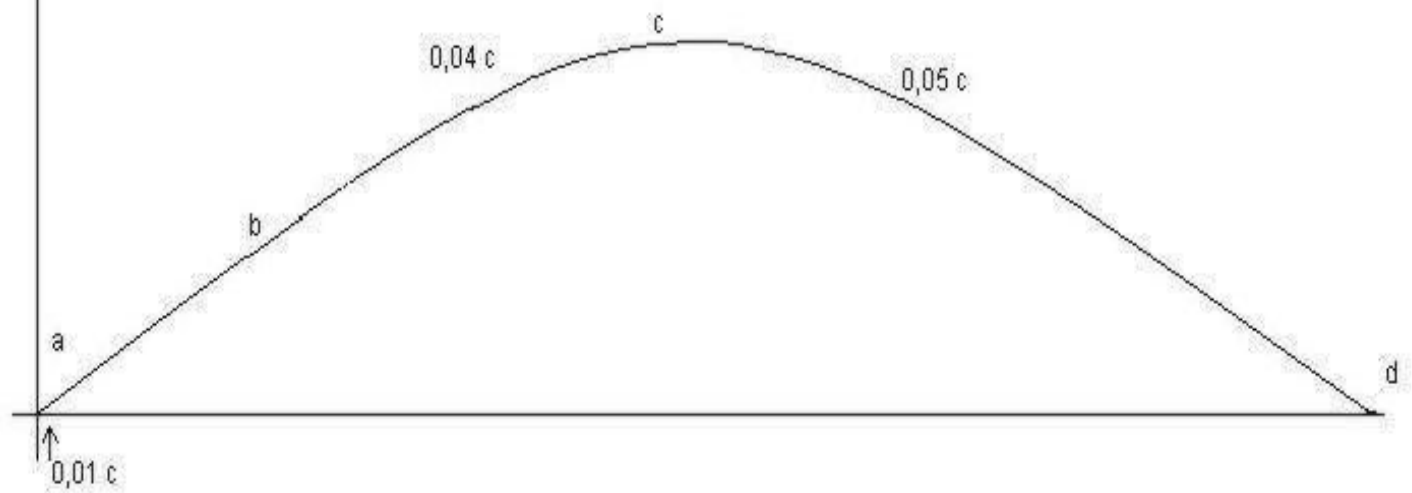
Рис. 2-4. Действие Ca^{2+} во время активации. *А.* Изображение актиновой и миозиновой нитей на продольном сечении. *Б.* Поперечное сечение волокна. Когда Ca^{2+} связывается с тропонином, тропомиозин скользит в желобке между двумя субъединицами актиновой нити, обнажая участки прикрепления поперечных мостиков [2].

Последовательность процессов при ЭМС

1. *Раздражение.*
2. *Возникновение ПД.*
3. *Проведение его вдоль клеточной мембраны и вглубь волокна по трубочкам Т-систем.*
4. *Деполяризация мембраны саркоплазматического ретикулюма.*
5. *Освобождение Ca^{++} из триад и диффузия его к миофибриллам.*
6. *Взаимодействие Ca^{++} с тропонином и выделение энергии АТФ.*
7. *Скольжение актиновых и миозиновых нитей.*
8. *Сокращение мышцы.*
9. *Понижение концентрации Ca^{++} в межфибриллярном пространстве из-за работы Са-насоса.*
10. *Расслабление мышцы.*

Кривая одиночного сокращения икроножной мышцы лагушки

a - момент нанесения раздражения
b - начало сокращения
ab - латентный период (скрытый)
bc - фаза сокращения
cd - фаза расслабления



Энергетика мышечного сокращения

Сокращение и расслабление мышцы – активный процесс, использование энергии АТФ:

- Ресинтез АТФ за счет креатинфосфата, гликолитических и окислительных процессов.

При снижении АТФ возникает состояние длительного сокращения – *контрактура мышц*

Виды мышечных волокон

- **Медленные волокна** с высоким содержанием миоглобина (красный мышечный пигмент), называют также **красными волокнами,** отличаются хорошей выносливостью.
- Получение энергии в медленных волокнах, происходит преимущественно путем аэробного окисления глюкозы. Этот процесс протекает *экономично* (на каждую молекулу глюкозы при разложении мышечного гликогена для получения энергии накапливается 39 энергетических фосфатных соединений), волокна имеют высокую сопротивляемость утомляемости.
- **Быстрые волокна**, обладающие по сравнению с красными волокнами небольшим содержанием миоглобина, называют также **белыми волокнами**. Они характеризуются высокой сократительной скоростью и возможностью развивать большую силу. По сравнению с медленными волокнами они могут вдвое быстрее сокращаться и развить в 10 раз большую силу.
- Накопление энергии в быстрых волокнах происходит преимущественно путем анаэробного гликолиза, т. е. глюкоза в отсутствии кислорода распадается до лактата. В связи с тем, что этот процесс распада *неэкономичен* (на каждую молекулу глюкозы для получения энергии накапливается всего лишь 3 энергетических фосфатных соединения), быстрые волокна относительно быстро утомляются, но они способны развить большую силу и, как правило, включаются при субмаксильных и максимальных мышечных сокращениях.

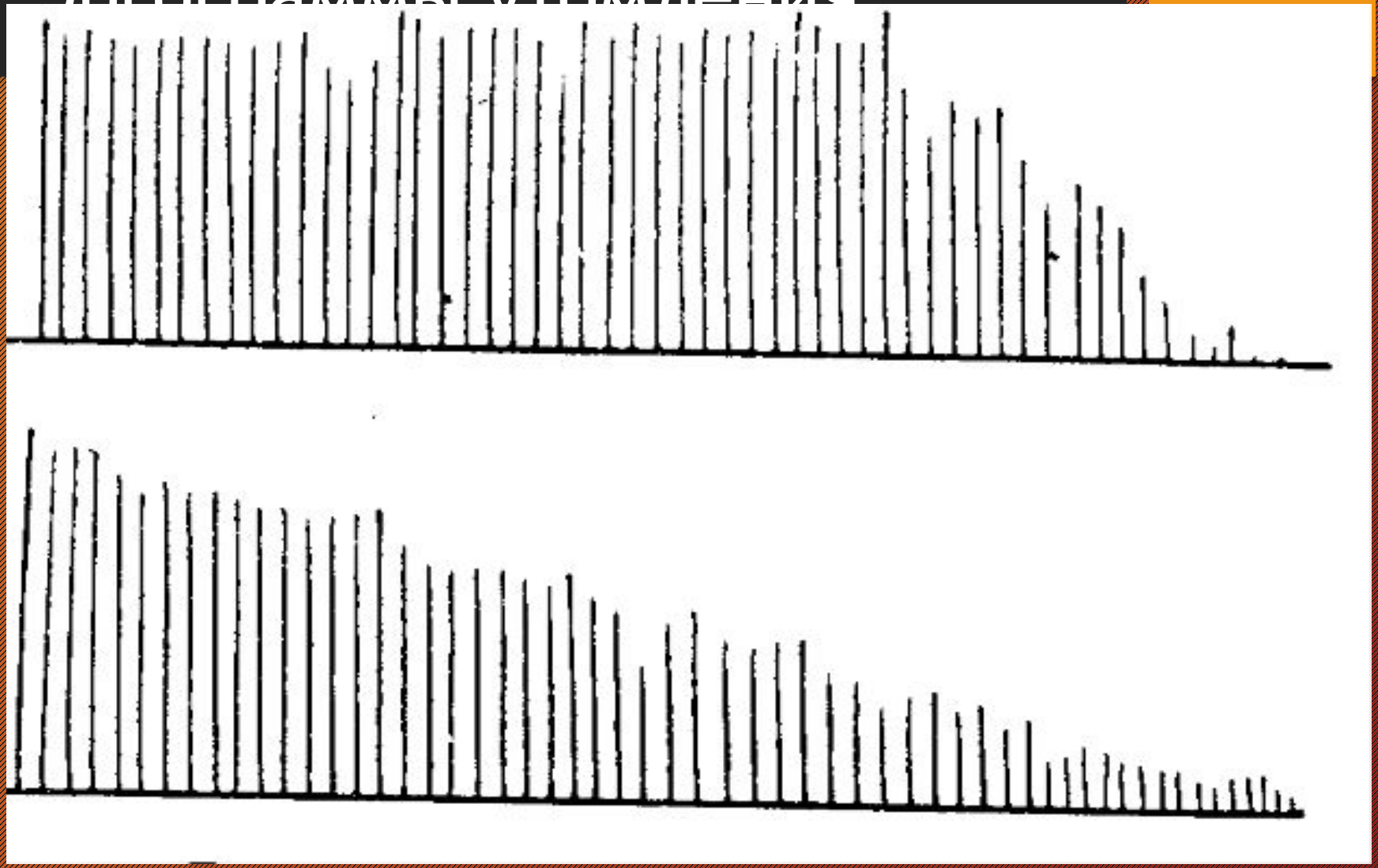
Утомление мышц

Временное понижение работоспособности мышцы, наступающее в результате работы и исчезающее после отдыха.

Признаки утомления мышцы:

- Снижение амплитуды сокращения
- Увеличение латентного периода
- Удлинение периода расслабления

Эргограммы утомления



Причины утомления мышцы

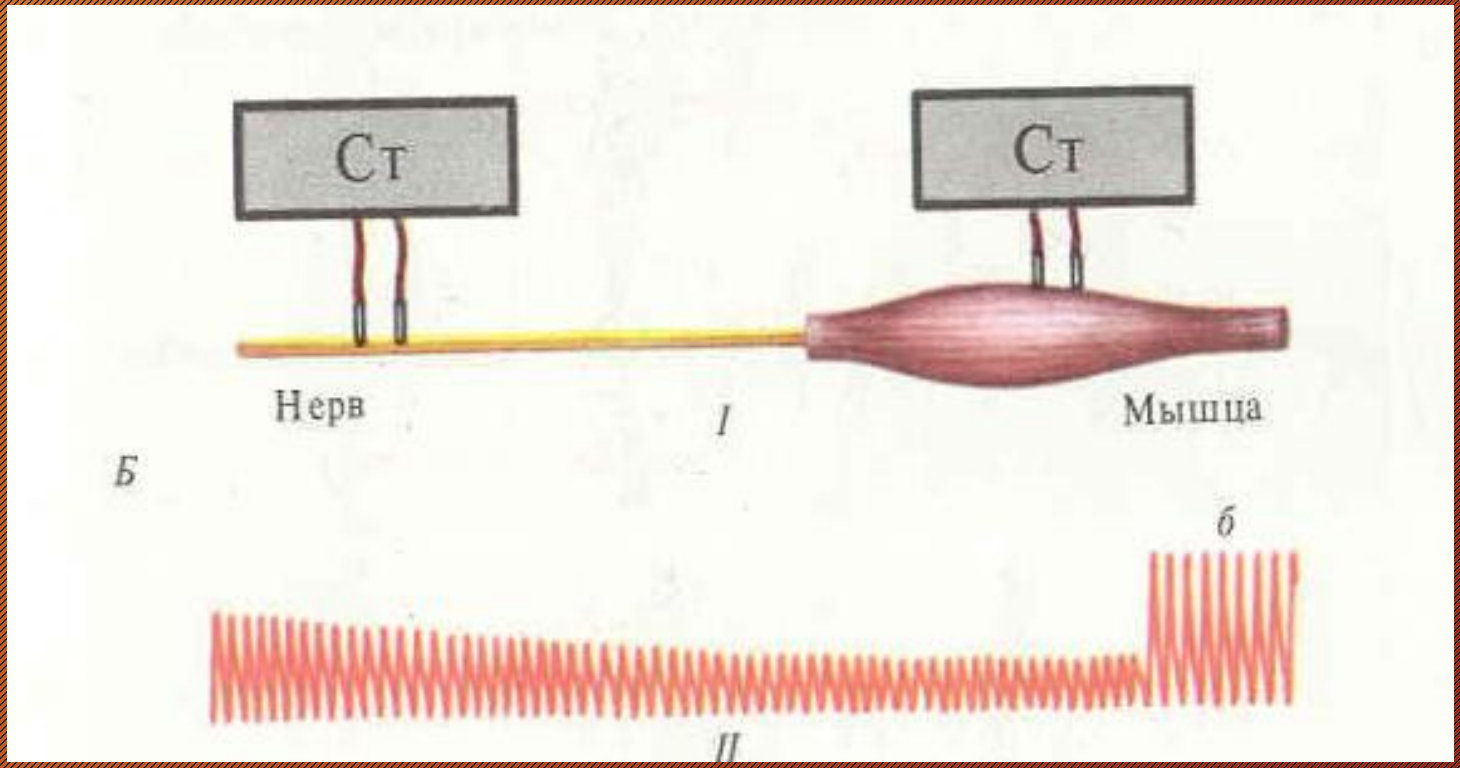
- **Местные :**

1. Накопление продуктов обмена и их диффузия в межклеточное вещество
2. Истощение энергетических запасов

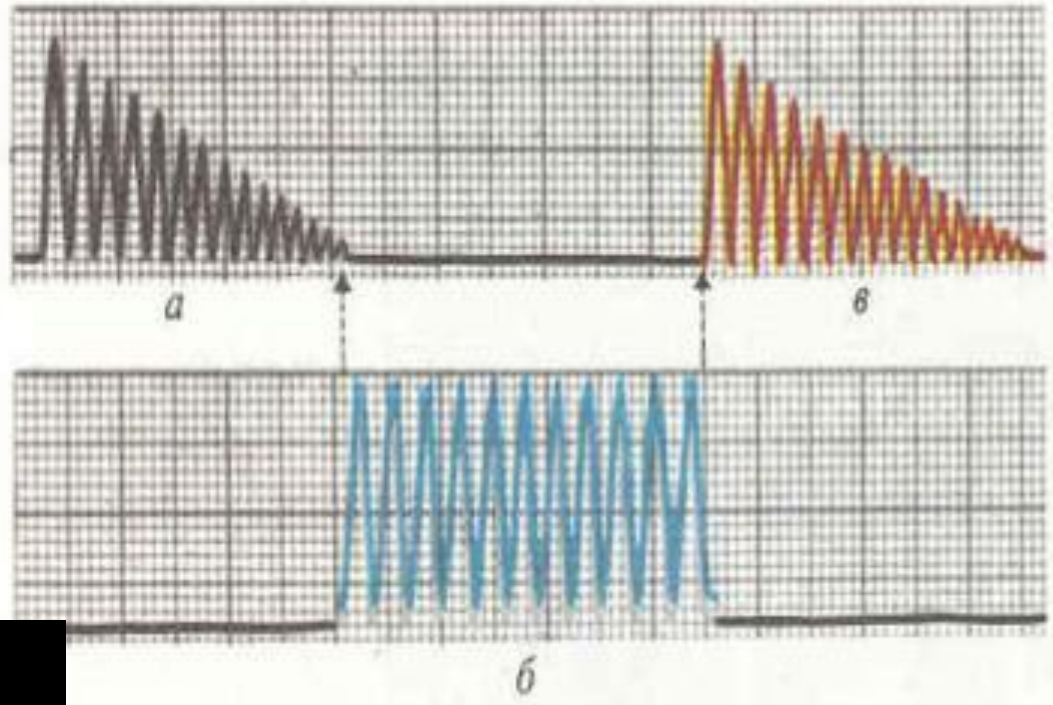
- **Центральные :**

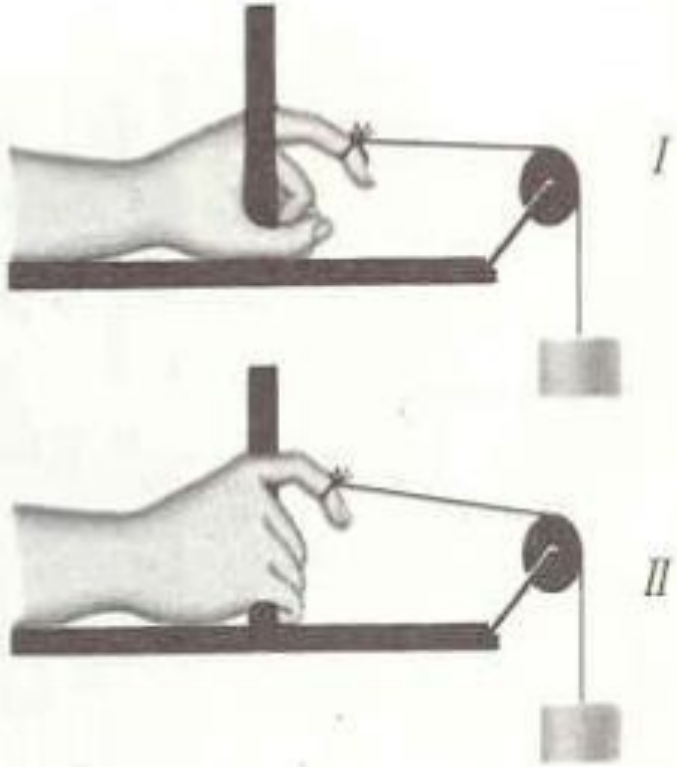
1. Утомление двигательных центров (центральных синапсов)
2. Утомление нервно-мышечных синапсов

Локализация утомления в нервно-мышечном препарате



Работа и утомление. Активный отдых.





Тренировка

- При тренировке увеличивается объем мышц в результате роста и утолщения мышечных волокон;
- возрастает мышечная выносливость.
- В мышце повышается содержание гликогена, АТФ и креатинфосфата,
- ускоряется течение процессов распада и восстановления веществ, участвующих в обмене.

Врабатывание - первая фаза функциональных изменений, происходящих во время работы

- настройка нервных и нейрогуморальных механизмов управления движениями и вегетативных процессов;
- улучшение координации движений;
- достижение требуемого уровня вегетативных функций, обеспечивающих данную мышечную деятельность.
- Через несколько минут после начала напряженной и продолжительной работы у нетренированного человека часто возникает особое состояние, называемое ***"мертвой точкой"***.
- состояние, сменяющее "мертвую точку", называют «***вторым дыханием***» *-чувство внезапного облегчения, которое прежде и чаще всего проявляется в появлении нормального ("комфортного") дыхания.*

“Мёртвая точка” и “второе дыхание”

Субъективные чувства:

головокружение; стеснение в груди;
ощущение пульсации сосудов головного мозга;
иногда боль в мышцах

Объективные признаки состояния:

частое и поверхностное дыхание, ↑ потребление O_2 и ↑ выделение CO_2, ↑ ЧСС, ↑ содержание CO_2 в крови и альвеолярном воздухе, ↓ pH крови,
значительное потоотделение.

Желание прекратить работу.

Несогласованная мышечная работа с кислородтранспортной системой.

Накопление продуктов анаэробного метаболизма (LA)

Гипоксия дыхательных мышц

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!