

Опорно-двигательный аппарат

Мартусевич Андрей Кимович

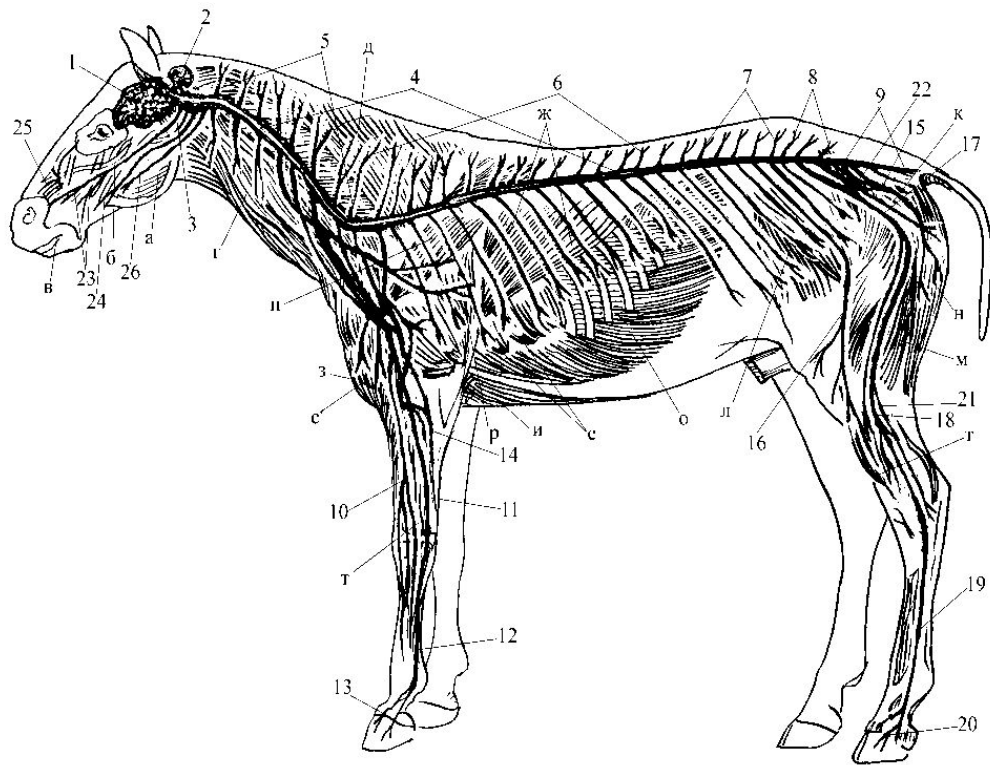
План лекции:

- Общая характеристика системы, обеспечивающей поддержание позы и перемещение отдельных звеньев и всего тела в пространстве.
- Поперечнополосатые скелетные мышцы.
- Скелет. Физиология костей скелета.
- Приспособление тонуса и сокращений мышц к меняющимся условиям.
- Виды движений животных.
- Гиподинамия.

ХАРАКТЕРИСТИКА СИСТЕМЫ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕЙ ПОДДЕРЖАНИЕ ПОЗЫ И ПЕРЕМЕЩЕНИЕ ТЕЛА

- Основу жизнедеятельности организма составляют двигательные приспособительные реакции, обеспечивающие его самосохранение
- Двигательные приспособительные реакции: поддержание принятой позы, перемещение звеньев и всего тела в пространстве, ориентировочные, защитные, поведенческие движения обеспечиваются в организме *системой, которая включает:*
 - 1) зрительный, слуховой, обонятельный, кожный и висцеральный анализаторы;
 - 2) двигательный нервный центр (совокупность определенных нейронов спинного, продолговатого, среднего мозга, ретикулярной формации, мозжечка, промежуточного мозга, стриопаллидума, лимбической системы и коры больших полушарий головного мозга, обеспечивающая формирование программы действия);
 - 3) эфферентные волокна соматических нервов, идущих к мышцам;
 - 4) исполнительных органов (скелет и поперечнополосатые скелетные мышцы);
 - 5) проприорецепторы и вестибулорецепторы с афферентными проводниками, находящимися в составе соматических нервов и связанные с ними нейроны в двигательном нервном центре.
- **Исполнительный аппарат** этой системы формируется из скелета и мышц (поперечнополосатых, динамических и статодинамических).

Система, обеспечивающая поддержание позы и перемещение отдельных звеньев и всего тела в пространстве **у лошади**



- I. Двигательный нервный центр, включающий нейроны:
- II. Периферический соматический отдел системы
- III. Скелетные мышцы

СКЕЛЕТ

- *СКЕЛЕТ* образует кинематические цепи конечностей и тела.
- Кости скелета, движущиеся в суставах при сокращении мышц, образуют рычаги двигательного аппарата. Точкой опоры рычага служит сустав, точкой приложения силы - место прикрепления мышцы, точкой сопротивления - место действия на кость силы тяжести. В зависимости от расположения точек сопротивления и приложения силы относительно точки опоры различают рычаги 1, 2 и 3 рода.
- Рычаг первого рода, или рычаг равновесия, - это двуплечий рычаг, точки сопротивления и приложения силы находятся на противоположных сторонах от точки опоры.
- Рычаг второго рода, или рычаг силы, - одноплечий рычаг, точка сопротивления находится между точкой опоры и точкой приложения силы.
- В рычаге третьего рода, или рычаге скорости, точка приложения силы находится между точкой опоры и точкой сопротивления.

Физиология костной ткани

- Основу скелета составляют *кости*. Количество костей у животных – в пределах 260-320 (у человека - более 200).
- *СОСТАВ*. Кости состоят из органического и неорганического вещества. Основу органического вещества кости составляет белок коллаген – 95%, жиры, мукополисахариды, нуклеиновые кислоты, углеводы и пр. – 5%. В органическую основу кости откладываются неорганические вещества (минеральные соли), больше всего кальция и фосфора. Основной элемент кости – коллагеновые волокна или оссеины. Они складываются группами и образуют пластинки. Оссеины придают кости эластичность и упругость, а минеральные вещества – твердость. В кости взрослого человека, животного соотношение оссеины: минеральные вещества, как 1:2, поэтому кости взрослых имеют наибольшую крепость и упругость.
- *СТРОЕНИЕ*. Каждая кость построена из надкостницы, покрывающей кость снаружи, следующего за ней компактного вещества и внутри кости – губчатого вещества.
- Надкостница состоит из коллагеновых волокон и соединительной ткани. Она срастается с компактным веществом. Внутренний слой надкостницы содержит костеобразующие клетки – *остеоциты*. Внутренний слой надкостницы пронизан кровеносными сосудами и нервными волокнами. За надкостницей располагается наружный и внутренний слой пластинок, между которыми помещается система пластинок расположенных концентрически вокруг кровеносных сосудов. Эти образования называются *остеоны*. В каждом остеоны в центре имеется канал, в котором проходят кровеносные сосуды и симпатические нервные волокна. Между пластинками располагаются остеоциты.

Физиология костной ткани

- В костной ткани различают 3 вида костных клеток: *остеобласты*, *остеокласты* и *остеоциты*. Эти клетки обеспечивают два процесса в кости: построение костной ткани и разрушение костной ткани.

- Созидание костной ткани осуществляется остеобластами, крупными клетками овальной формы, со всеми компонентами животной клетки. Они активные клетки, их много у растущего организма. Остеобласты синтезируют органическое вещество кости – белок коллаген, мукополисахариды и другие. Важнейший белок кости коллаген, который включает аминокислоты глицин, пролин, гидроксипролин. Он составляет 95% органического вещества кости (30% от массы кости; 60% - минеральные вещества и 10% - вода), 5% - жиры, углеводы, мукополисахариды, нуклеиновые кислоты, лимонная кислота и пр. В результате кость растет, происходит её минерализация. Минеральные вещества откладываются в органическую основу, больше всего кальция и фосфора (например, в костях крупного рогатого скота около 8 кг кальция и 3 кг фосфора). Основное соединение кальция в костях – фосфат кальция, представленный кристаллами гидроксипатита, которые легко отдают в окружающую среду кальций и фосфор и также легко их присоединяет.

Физиология костной ткани

- Процесс разрушения костной ткани осуществляется остеокластами, гигантские клетки с большим количеством ядер, со всеми компонентами клетки. Они содержат в протоплазме клетки много лизосом с набором ферментов, который действует на костную ткань, превращая и разрушая её. Освобождаются минеральные вещества и поступают в кровь. Остеоциты – слабопроявляющие деятельность остеобласты, замурованные в минеральные вещества, имеют много отростков, лежат в костных полостях.
- *РОЛИ КОСТЕЙ.* Кости образуют защитные жёсткие каркасы для внутренних органов (позвоночный канал, полость черепа, грудная клетка, таз). Они являются местом фиксации для многих внутренних органов, служат им опорой. Кости вместе со скелетными мышцами, связками, сухожилиями, фасциями являются опорно-двигательным аппаратом, который способен выдерживать вес тела и дающего возможность поддерживать позу и передвигаться в пространстве.

ПОПЕРЕЧНОПОЛОСАТЫЕ СКЕЛЕТНЫЕ МЫШЦЫ

- ***Поперечнополосатые мышцы*** образованы из пучков мышечных волокон, окруженных прослойками соединительной ткани.
- ***Мышечное волокно*** состоит из саркоплазмы с расположенными в ней ядром, типичными органеллами и множественными миофибриллами (сократительными элементами) и окружено фибриллярной оболочкой - сарколеммой.
- Мышечное волокно с нервными окончаниями, кровеносными и лимфатическими капиллярами называют ***мышечной единицей***, или ***мионом***. Мышечные волокна объединены в пучки I, II и III порядков.
- Мышцы окружены фасциями, которые образуют для них мышечные влагалища. Фасции выполняют опорную функцию. Вспомогательными аппаратами мышц являются также фиброзные и синовиальные влагалища сухожилий, способствующие удержанию сухожилий около костей и суставов, движению сухожилий в определенных направлениях.
- ***Мышечные волокна делят на экстрафузальные и интрафузальные.***
- ***Экстрафузальные волокна*** подразделяют на быстрые фазные и медленные фазные волокна. Быстрые фазные волокна составляют основу быстрых мышц (например, разгибателей конечностей); медленные волокна - медленных мышц, (например, поясничных). Большинство мышц содержат как быстрые, так и медленные фазные волокна. Медленные фазные волокна дают гладкий тетанус при более редкой частоте раздражения и медленнее выходят из активной фазы.
- В мышцах имеются также тонические волокна. В отличие от фазных волокон, имеющих упорядоченные внутриклеточные мембраны, в тонических волокнах внутриклеточные мембраны располагаются хаотично. Тонические мышечные волокна иннервированы тонкими аксонами со скоростью проведения импульса около 30 м/сек., могут оставаться в состоянии сокращения в течение нескольких минут.
- Каждое фазное поперечнополосатое мышечное волокно снабжено отдельным нервным окончанием, образующим на поверхностной мембране концевую пластинку (нейромускулярную бляшку). Поступающий нервный импульс вызывает высвобождение из нервных окончаний медиатора - ацетилхолина, который, взаимодействуя с холинорецептором постсинаптической мембраны, вызывает постсинаптический потенциал нейромускулярной бляшки. Постсинаптический потенциал, достигнув критической величины, вызывает потенциал действия. ***Мышечные волокна, как правило, сокращаются группами, так как аксон, входя в мышцу, обильно разветвляется, и иннервирует группу мышечных волокон, с которыми образует моторную единицу.***

Физиология мышечного волокна

● Поперечнополосатые мышечные волокна имеют форму цилиндра диаметром около 80 мкм, длиной 4-16 см. Вдоль оси волокна располагаются миофибриллы - тонкие волоконца.

● В состав миофибриллы входят чередующиеся диски: двулучепреломляющее (анизотропное) вещество - диск *A* и лишнее двулучепреломления (изотропное) вещество - диск *I*. Диски *A* и *I* образуют саркомеры. На границе саркомеров имеются перегородки: перегородка, пересекающая диски *I* в поперечном направлении, называемая телофрагма (перегородка *T*) и перегородка, пересекающая в поперечном направлении диски *A* (мезофрагма).

● Миофибриллы состоят из протофибрилл двух типов: толстых и тонких. В зоне диска *A* располагаются толстые протофибриллы, в зоне диска *I* - тонкие. Толстые протофибриллы построены из особого мышечного белка миозина, тонкие - из актина.

● Сарколемма в зонах телофрагмы образует пальцевидные выпячивания - трубочки *T*-системы - внутрь волокон между, миофибриллами, окружая каждую из них кольцом. Трубочки *T*-системы вступают в связь с цистернами саркоплазматического ретикулума в зоне диска *I*. Цистерны саркоплазматического ретикулума располагаются вокруг миофибрилл в виде муфт, от которых вдоль миофибрилл отходят *L*-каналы, образующие сеть в зоне мезофрагмы. Комплекс, включающий *T*-каналы и прилегающие две концевые цистерны называется триадой.

● Основной сократительной единицей является саркомер. При возбуждении мембраны мышечного волокна, возбуждение передается по каналам *T*-системы к саркоплазматическому ретикулуму и вызывает выход ионов кальция. В состоянии покоя кальций депонируется в саркоплазматическом ретикулуме. Ионы кальция выходя из ретикулума немедленно вступают во взаимодействие с белком тропонином, вследствие чего специальная система мышечных белков «тропонин-тропомиозин» утрачивает способность тормозить взаимодействие актина с миозином. Актин и миозин начинают «скользить» друг по другу: актиновые нити вдвигаются в промежутки между миозиновыми, мышца укорачивается. АТФ-аза миозина активируется актином при участии ионов Mg.

● Энергия для мышечного сокращения освобождается активированной АТФ-азой актиномиозина, гидролизующей АТФ на АДФ и фосфат. При этом освобождается энергия.

● Прекращение возбуждения ведет к снижению концентрации кальция в межфибрилярном пространстве. Кальций активно поглощается мембранами саркоплазматического ретикулума. При этом реактивируется система «тропонин-тропомиозин» и вновь тормозит взаимодействие актина и миозина.

● Ресинтез осуществляется путем ферментативного переноса фосфатной группы от богатого энергией фосфорного соединения — креатинфосфата на АДФ. При длительной работе запасы креатинфосфата истощаются и ресинтез АТФ и креатинфосфата происходит при окислении молочной и пировиноградной кислот, образующихся в мышце во время ее сокращения.

● Различные моторные единицы иннервируются различными двигательными нейронами и сокращаются не одновременно, однако суммарное сокращение мышцы имеет слитный характер гладкого тетануса (длительного сокращения).

Мышечная работа и утомление

- **Мышцы на скелете распределены неодинаково:** там, где требуется приложение большой силы, например, для разгибания локтевого сустава при стоянии животного, располагаются перистые, статодинамические мышцы (с числом волокон – 400-1600). Вынесение вперед грудной конечности обеспечивают простые динамические мышцы (до 200 параллельных волокон), от мышцы требуется не столько силы, сколько размаха движений. *Сила мышечного сокращения зависит от числа моторных единиц (аксон и иннервируемая ими группа мышечных волокон), вовлекаемых одновременно в реакцию. Основу мышц — разгибателей (быстрых) составляют быстрые фазные волокна, основу медленных мышц (поясничных и др.) - медленные волокна. Мышцы находятся в состоянии постоянного некоторого сокращения (тонуса), которое обеспечивается медленными фазными и тоническими моторными единицами. Сократительные возможности мышц зависят от их физиологических свойств.*
- При длительной работе мышц отмечается утомление мышц.
- **Утомлением** называется временное понижение работоспособности мышц, наступающее в результате работы и исчезающее после отдыха. Утомление связано с блокированием передачи возбуждений в нейронах нервного центра и с нерва на мышцу (понижаются возможности образования медиатора).

ПРИСПОСОБЛЕНИЕ ТОНУСА И СОКРАЩЕНИЙ МЫШЦ К МЕНЯЮЩИМСЯ УСЛОВИЯМ

- Поза животного обеспечивается благодаря тонуса мышц, поддерживаемого возбуждением мышечно-суставных рецепторов от некоторого растяжения мышц под тяжестью скелета, а также благодаря познотоническим и выпрямительным приспособительным реакциям.
- При положении тела спиной вверх возникает возбуждение вестибулярного аппарата, поступающая в двигательный центр информация обеспечивает тонус мышц разгибателей конечностей. При изменении положения головы (запрокидывании, наклонении, повороте) возникает возбуждение рецепторов мышц шеи, поступающая в двигательный центр информация вызывает перераспределение тонуса мышц конечностей (соответственно понижение тонуса мышц - разгибателей задних конечностей, понижение тонуса мышц разгибателей передних конечностей, понижение тонуса мышц разгибателей конечностей на противоположной стороне), обеспечивается возможность изменения позы. При изменении положения головы возникает возбуждение рецепторов вестибулярного аппарата, обеспечивающее перераспределение тонуса мышц головы и возвращение головы в нормальное положение. При изменении положения шеи возникает возбуждение рецепторов мышц шеи, обеспечивающее перераспределение мышц туловища. Туловище приводится в соответствие с положением шеи. При изменении положения туловища (лежа на боку) возникает несимметричное раздражение рецепторов кожи боков, информация с рецепторов в этих условиях обеспечивает перераспределение тонуса мышц головы и туловища и возврат головы и туловища в нормальное положение.
- Последовательность мышечных сокращений, определяющих специфические для животного движения, предопределяется в центральной нервной системе - двигательном нервном центре, представленном совокупностью определенных нейронов спинного, продолговатого, среднего мозга, ретикулярной формации, мозжечка, промежуточного мозга, стриопаллидума, лимбической системы и коры больших полушарий головного мозга, обеспечивающем формирование программы действия и корректируется с помощью периферических раздражений проприорецепторов и экстерорецепторов.

ПРИСПОСОБЛЕНИЕ ТОНУСА И СОКРАЩЕНИЙ МЫШЦ К МЕНЯЮЩИМСЯ УСЛОВИЯМ

- Приспособительные двигательные реакции животного осуществляются в ответ на экстероцептивные, проприоцептивные и другие interoцептивные воздействия. Раздражение рецепторного поля порождает поток нервных импульсов, который направляется в двигательный нервный центр. Здесь в результате сложного взаимодействия в нервных цепях формируется программа действия. Программа действия от мотонейронов передается по эфферентным волокнам соматических нервов к мышцам и вызывает сокращение их мышечных волокон. Сокращение мышц в большинстве случаев влечет за собой изменение углов между костями в суставе - движение.
- *В зависимости от задачи движения* различные мышцы сокращаются либо содружественно, либо реципрокно. Большие мышечные группы объединяются в пространственно-временные комплексы (синергии), благодаря чему упрощается процесс управления сложными двигательными реакциями.
- Двигательные реакции бывают простыми - реакции на болевой, световой, температурный и другие раздражители и сложными - серия последовательных движений, направленных на решение определенной двигательной задачи (движения скелетно-мышечной системы, обеспечивающей перемещение животного в пространстве - шаг, бег, лягание, бодание, вспрыгивание и др.).

Регуляция движения

- В зависимости от характера движения физиологические механизмы связаны с произвольной регуляцией движения или автономны.

- Изменение состояния мышц при движении воспринимаются проприорецепторами (рецепторами мышц, сухожилий, фасций, суставов). Информация с проприорецепторов обеспечивает коррекцию самого движения. Перерезка нервных волокон проводящих информацию с проприорецепторов ведет к заметному нарушению движений. Проприорецепторы - мышечные веретена находятся среди мышечных волокон. Каждое веретено состоит из нескольких тонких, интрафузальных, поперечнополосатых мышечных волокон. Одиночное волокно состоит из центральной части - ядерной сумки и двух способных к сокращению участков. В ядерной сумке расположены рецепторы. Сокращающиеся участки иннервируются гамма-эфферентными волокнами. Сенсорная ядерная сумка мышечного веретена реагирует не на абсолютную длину мышцы, а на разницу между длиной веретена и длиной мышцы. Мышечное веретено одним концом прикрепляется к обычному мышечному волокну, другим к сухожилию. Сокращение или расслабление мышцы частично зависит от степени сокращения веретена. Концы веретен могут сокращаться, получая двигательную импульсацию по гамма-эфферентным волокнам от нейронов спинного мозга. Если гамма-эфферентные волокна вызвали сокращение концов веретен, то его чувствительная сумка будет растягиваться, частота импульсов с сумки возрастает и возникает сокращение мышцы. Растяжение мышцы при расслаблении также вызывает растяжение сумки веретена и сокращения мышцы. Мышца будет укорачиваться до тех пор, пока возросшая частота разрядов от веретен не компенсируется. Сокращение мышцы может быть вызвано двумя способами: либо через гамма-эфферентные волокна, либо через эфферентные волокна мышц. Коллатерали эфферентных волокон мышц (аксоны мотонейронов) возвращаются в спинной мозг и образуют синаптические контакты с клетками Реншоу. Клетки эти, возбуждаясь, оказывают тормозящее влияние на мотонейроны. Поперечнополосатые мышцы находятся также под влиянием рецепторов напряжения сухожилий (телец Гольджи), импульсы от которых вызывают торможение мотонейронов.

- Информация с проприорецепторов при сокращении мышц поступает в нервный центр и обеспечивает коррекцию и эффективность движения.

- Большую роль при осуществлении двигательных реакций играют анализаторы. Вестибулярный анализатор взаимодействует с проприорецептивным при изменении положения тела в пространстве. Слуховой и зрительный анализаторы обеспечивают пространственную динамику мышечной активности.

- Ходьба связана со *спинальным генератором шагания* – чередованием периодов возбуждения и торможения различных мотонейронов.

- Поведенческие реакции, адаптированные к условиям среды, обеспечиваются высшими отделами – мозжечком, подкорковыми ядрами, корой больших полушарий головного мозга. В коре мотонейроны объединяются в модули, которые синхронно вовлекаются в формирование программ. В центральной нервной системе формируется «схема тела». Новые движения сопровождаются формированием новых динамических образов тела.

Виды движений животных

- Каждый вид и особь животных имеет репертуар «фиксированных» - стереотипных последовательных движений, регуляция которых не зависит от внешних раздражителей, хотя может зависеть от проприоцептивных импульсов. Точные движения контролируются сигналами обратной связи и высшими отделами центральной нервной системы. Удаление сенсомоторной зоны коры приводит к нарушению организации движений, которые проявляются в неловкости и неповоротливости.
- У животных при большом числе опорных конечностей (четвероногие) поза стояния является статически устойчивой и для ее поддержания достаточно обеспечивать необходимую упругую жесткость конечностей. Ходьба представляет непрерывную смену статически устойчивых поз. При ходьбе и беге движения создаются за счет отталкивания от грунта.
- Животные могут прыгать. **Прыжок** осуществляется путем отталкивания от земли обеими задними конечностями. Вначале животное за счет перераспределения тонуса мышц отталкивается от почвы передними конечностями, при этом туловище становится в положение «стойки», голова закидывается слегка назад, затем отталкивается тазовыми конечностями и осуществляет полет вперед и приземляется.
- Ложась, животное опускает голову, подгибает под себя конечности, сгибает спину. Тонус мышц разгибателей конечностей той стороны, куда повернута голова, повышается, а с противоположной стороны понижается. Животное опускается в ту сторону, где тонус мускулатуры ослаблен. Встает животное вначале на тазовые конечности, затем разгибает грудные конечности, поднимает переднюю часть туловища и голову.

Виды движений животных

- Способ перемещения животного называется *аллюр*. Виды аллюра: шаг, рысь, галоп, иноходь, карьер.
- Основным видом движения является *шаг*. При шаге происходит согласованное движение конечностей. Одной конечностью животное опирается, другую переносит вперед, третьей также опирается, четвертой отталкивается. Перенос конечности вперед сопровождается сгибанием конечности в нижних суставах (подниманием), затем сгибанием конечности в верхних суставах (перемещением вперед), разгибанием и опусканием конечности. При шаге наблюдается четыре последовательных опирания конечностей на землю, например, левой задней, левой передней, правой задней, правой передней. Подъем конечности при движении вызывает перераспределение тонуса мышц, понижение тонуса разгибателей и повышение тонуса сгибателей мышц поднятой конечности и повышение тонуса разгибателей конечностей, на которые животное опирается. Длина шага у лошади - 1,4-1,8 м, скорость - 6-7 км/ч.
- *Рысь* – перемещение, при котором одна передняя и одна задняя конечность противоположной стороны ставятся на землю одновременно, на другие две конечности животное опирается.
- *Галоп* – быстрое перемещение скачками.
- *Иноходь* – перемещение при котором одновременно выносятся сначала обе правые конечности, а затем обе левые.
- *Карьер* – ускоренный галоп.

Роль движений в функционировании организма животного

Двигательные реакции животного вызывают неспецифические изменения функциональной активности всех систем организма, во многом способствующие сохранению здоровья и высокой работоспособности, продуктивности. Движения, сопровождающиеся потоком импульсов с проприорецепторов и активацией ретикулярной формации, поддерживают тонус всех периферических органов, активируют обменные процессы, рост, повышают резистентность.

Движения, например, крупного рогатого скота в виде моциона активируют функции нервной и эндокринной систем, сердца, сосудов, крови, дыхания, органов пищеварения, половой системы, молочных желез, улучшают обмен веществ и энергии, теплорегуляцию. При этом повышается резистентность организма, молочная и мясная продуктивность. Активные прогулки молодняка способствуют росту и развитию его. Существует определенная зависимость между двигательной активностью, скороспелостью и величиной животного во взрослом состоянии. Завершение формирования двигательной активности примерно совпадает с их физиологической зрелостью. Период формирования двигательной активности примерно соответствует периоду интенсивного роста.

Гиподинамия

- **Гиподинамия** — уменьшение мышечных усилий, затрачиваемых на перемещение тела в пространстве у животных при содержании в замкнутых помещениях малого объема, вызывает ослабление деятельности всех органов, систем и расстройством их взаимосвязей в организме.
- Уменьшается энергообмен и потребность в корме, развиваются детренированность сердечно-сосудистой системы, дистрофия мышечной ткани, перестраивается обмен веществ, увеличивается доля жирового компонента в массе тела, происходит деминерализация костной ткани, уменьшается концентрация ряда гормонов в крови.
- В результате этого снижается устойчивость организма к действию неблагоприятных факторов, падает продуктивность, отмечаются бесплодие и задержка последа после родов. Большие сдвиги отмечаются у высокопродуктивных животных. Ежедневный моцион животных является непременным условием поддержания физиологического тонуса всех нервных центров, гормонального профиля, нормального обмена веществ.
- Суточная доля движений у разных животных различна. Так, например, у мясного скота двигательная активность ниже, чем у молочного. В зависимости от фронта кормления и площади содержания крупного рогатого скота при групповом содержании, они совершают от 700 до 15000 движений. На пастбище в период лета мух двигательная активность крупного рогатого скота возрастает.

Спасибо за внимание!
