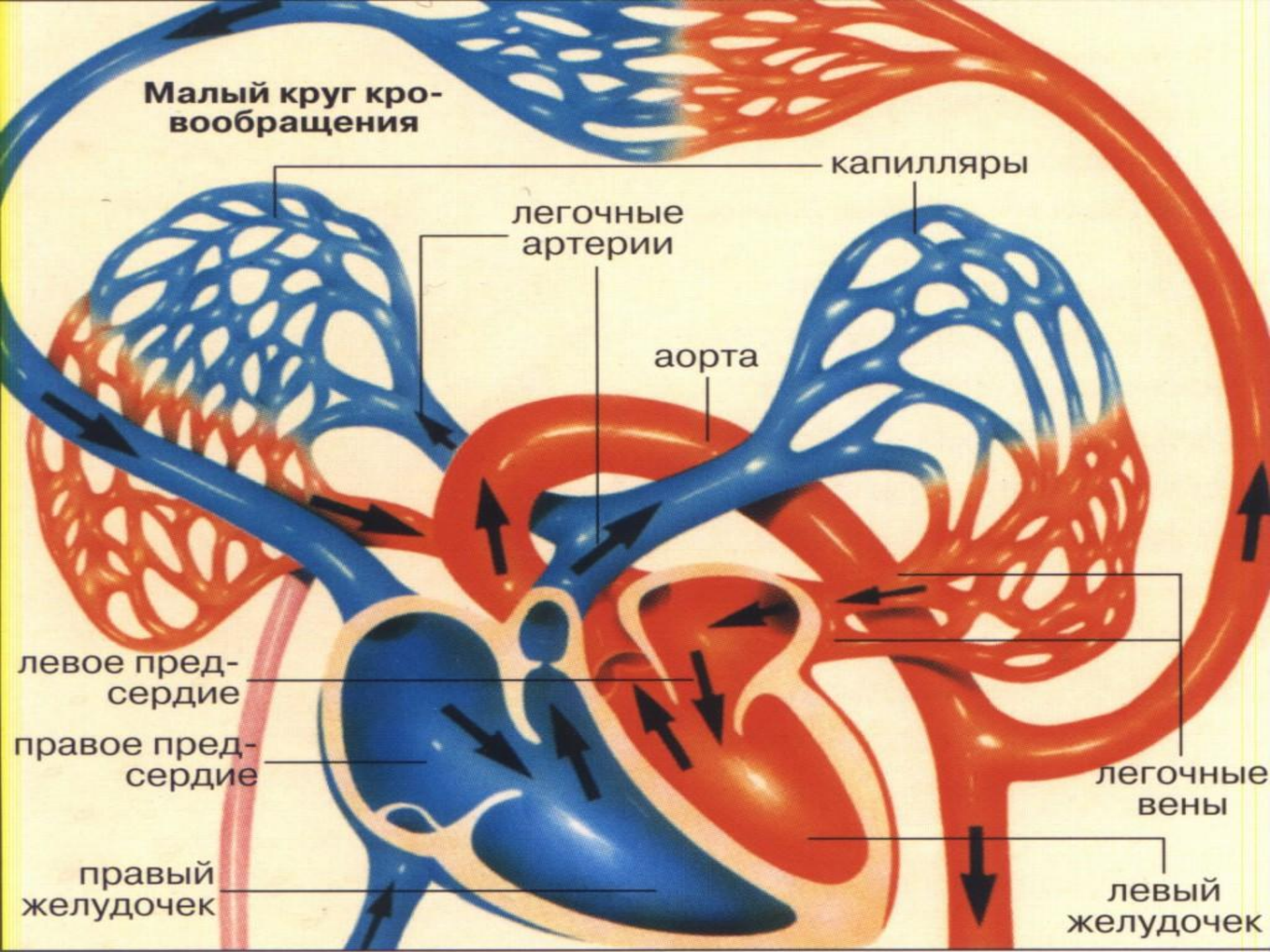


Гемодинамика

Большой круг кровообращения (системный) начинается от левого желудочка сердца аортой, которая ветвится на многочисленные артерии, снабжающие кровью каждый орган. В толще органов артериолы формируют капиллярную сеть. Сливаясь между собой, капилляры образуют венулы. Процесс слияния заканчивается двумя большими полыми венами (краниальной и каудальной) впадающими в правое предсердие. Сосуды, несущие венозную кровь от кишечника и селезёнки, разветвляются в печени ещё на одну систему капилляров (портальное кровообращение), после чего кровь по печёночным венам попадает в каудальную полую вену.

Малый круг кровообращения (лёгочной) начинается от правого желудочка лёгочной артерией, которая, разветвляясь, переходит в сосудистые сети лёгких и заканчивается четырьмя лёгочными венами, впадающими в левое предсердие. В итоге оба круга кровообращения замыкаются.



Малый круг кро-
вообращения

капилляры

легочные
артерии

аорта

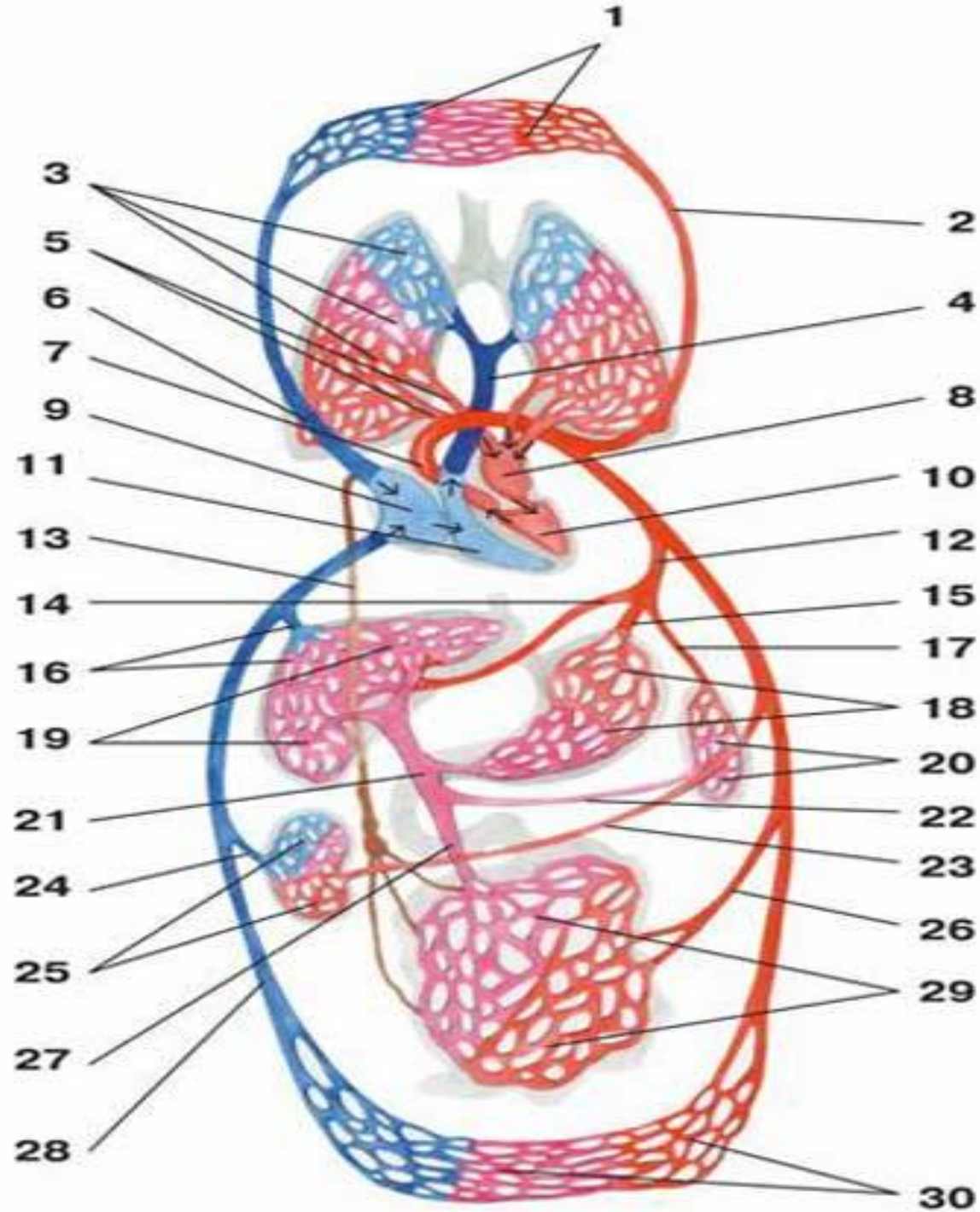
левое пред-
сердие

правое пред-
сердие

правый
желудочек

легочные
вены

левый
желудочек



Функциональная классификация сосудов

Амортизирующие сосуды – эластического типа (аорта, лёгочная артерия) обеспечивают преобразование резкопульсирующего кровотока в более плавный.

Резистивные сосуды (сосуды сопротивления), (концевые артерии и артериолы) в них преобладают ГМК, через радиус оказывают влияние на общее периферическое сопротивление.

Сосуды-сфинктеры (концевой отдел прекапиллярных артериол) – благодаря способности менять внутренний диаметр определяют число функционирующих капилляров.

Обменные сосуды (капилляры) – в них происходит обмен веществ между кровью и тканями.

Ёмкостные сосуды (посткапиллярные вены, вены) содержат 70-75% ОЦК и обуславливают ёмкость всей системы, величину возврата крови к сердцу и минутный объём крови.

Шунтирующие сосуды (артериовенулярные анастомозы) связывают артериальное русло с венозным, минуя капиллярную сеть. Участвуют в теплообмене, перераспределении крови и регуляции кровяного давления.

Размеры сосудистых сегментов определяют их сосудистую ёмкость. Артерии содержат около 10% ОЦК, капилляры – 5%, вены и небольшие вены – 54% и большие вены – 21%. Камеры сердца – 10%.

Прекапиллярные сфинктеры

Сосудистый шунт



Гемодинамика — раздел физиологии кровообращения, использующий законы гидродинамики, для исследования причин, условий и механизмов движения крови в сердечно-сосудистой системе.

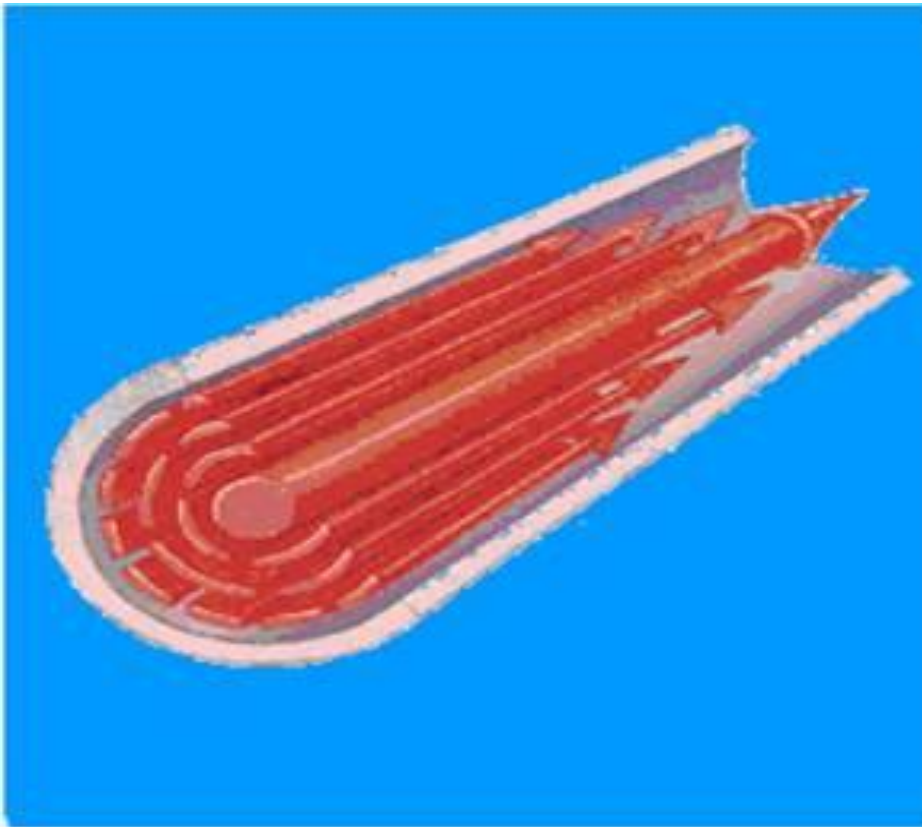
Гемодинамика определяется двумя силами:
давлением, оказывающим влияние на жидкость.
Силой создающей давление в сосудистой системе является сердце. Движущей силой крови служит градиент давлений в начале и конце трубки;
сопротивлением, которое жидкость испытывает при трении о стенки сосудов и вихревых движениях.

Движение крови в кровеносных сосудах

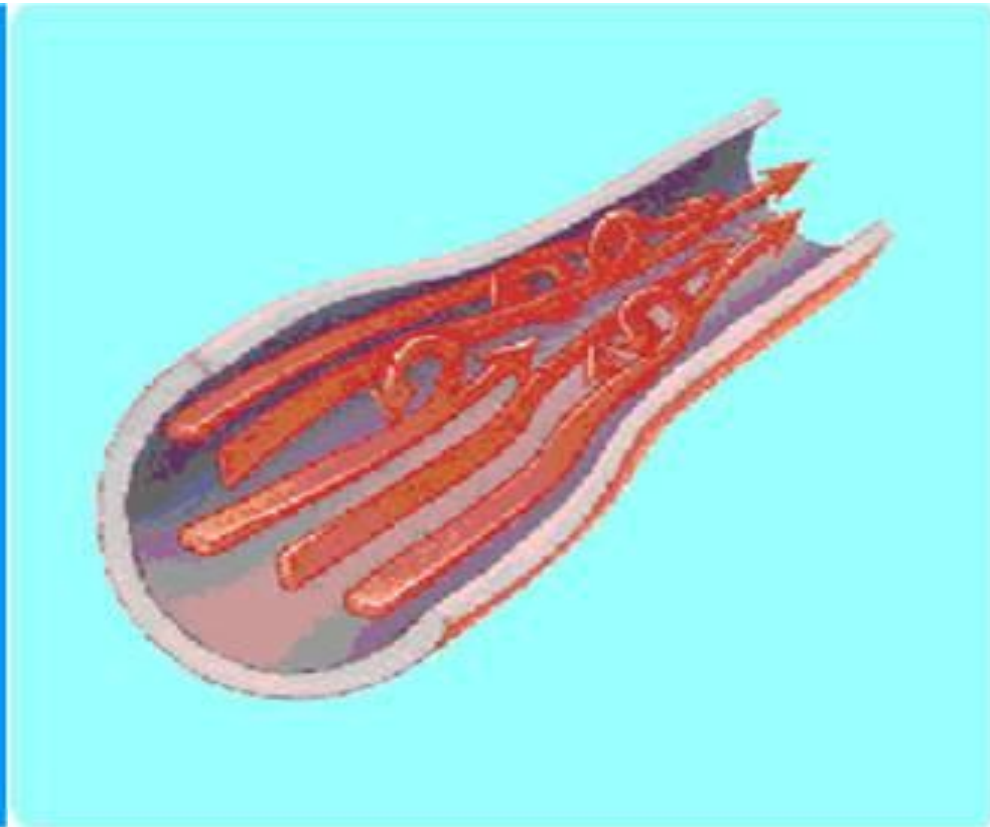
Ламинарное — обтекаемое движение, с параллельным течением слоёв. Слой, прилежащий к сосудистой стенке, практически неподвижен, а скорость в центре потока максимальна. Ламинарное движение бесшумно. Это основной способ движения крови.

Турбулентное — вихревое движение возникающее, когда скорость ламинарного потока становится выше критической. Возникает в местах бифуркации артерий и в участках крутых изгибов сосудов. Такое движение порождает звуки.

Ламинарное движение крови



Турбулентное движение крови



Основные показатели гемодинамики

Объёмная скорость кровотока - объём крови, протекающей через поперечное сечение сосудов за единицу времени в мл/с. Она прямо пропорциональна градиенту давлений в начале и конце сосуда и обратно пропорциональна его сопротивлению току крови.

Линейная скорость кровотока - расстояние, которое проходит частица крови за секунду. Измеряется в м/с или см/с. Обратно пропорциональна площади поперечного сечения сосудистого русла. Средняя скорость движения крови: аорта – 50-80 см/с; артерии – 40-10 см/с; артериолы – 10-0,5 см/с; капилляры – 0,05-0,08 см/с; венулы – 0,1-0,3 см/с; вены – 3-7 см/с; полые вены – 20 см/с.

Скорость кругооборота крови (скорость кровообращения) - отражает время, за которое частица крови проходит большой (около $\frac{4}{5}$ времени) и малый круг кровообращения (около $\frac{1}{5}$ времени). СКК у кролика – 7 с, у собаки – 16 с, у лошади – 23 с.

Основной метод определения скорости кровотока

**Допплерометрия использует
принцип прохождения
ультразвуковых волн через
сосуд и отражения волн от
движущихся эритроцитов и
лейкоцитов.**

Кровяное давление - гидростатическое давление крови на стенки кровеносных сосудов.

Артериальное давление (АД) меняется в зависимости от фаз сердечного цикла:

***систолическое* (максимальное) давление это подъём кровяного давления в артериях вследствие систолы желудочков. Оно характеризует работу сердца;**

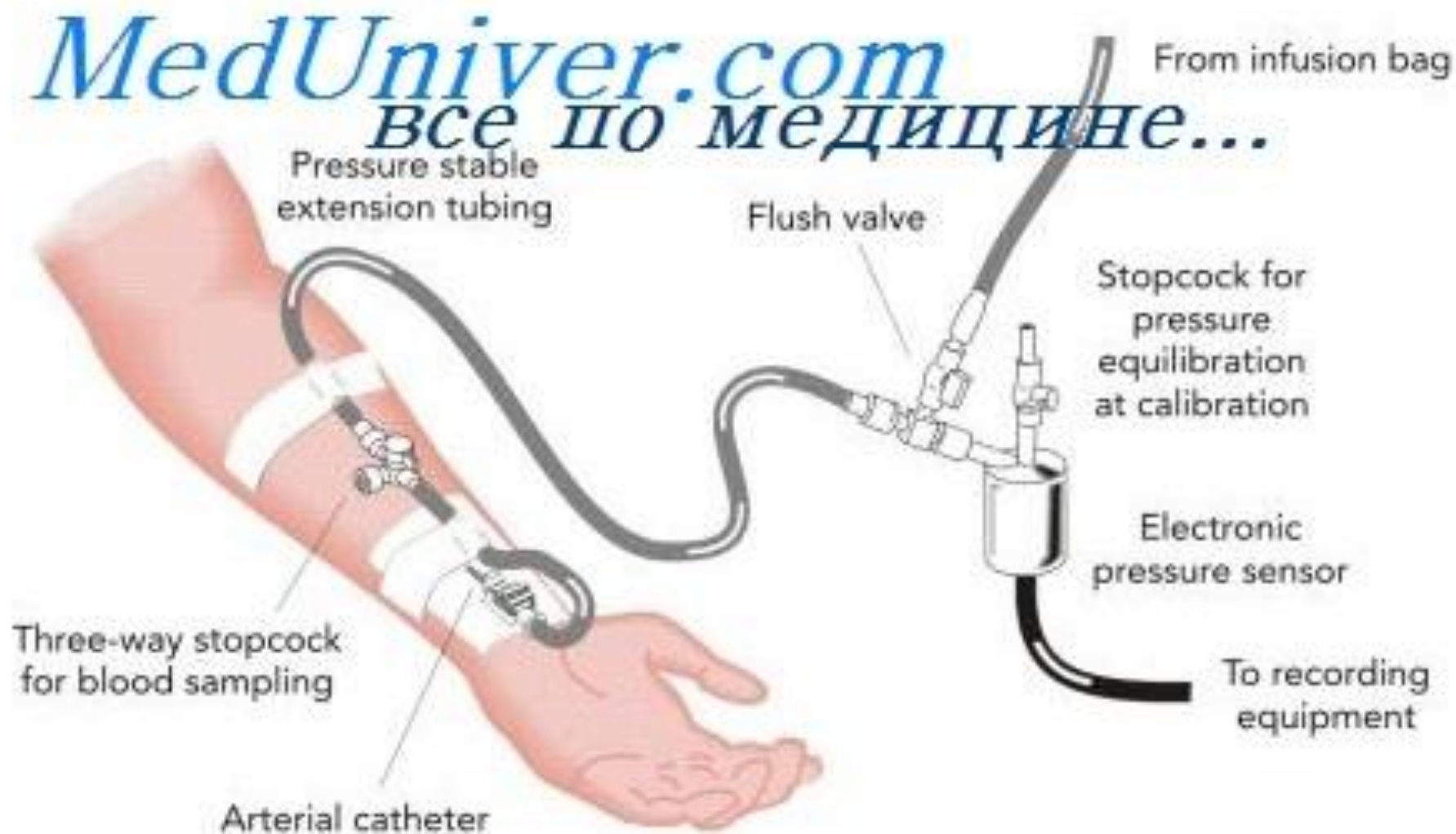
***диастолическое* (минимальное) давление это спад давления крови в артериях во время диастолы, характеризует величину тонуса сосудов;**

***пульсовое давление* — разность между систолическим и диастолическим давлением. Пропорционально объёму крови, выбрасываемой сердцем при каждой систоле.**

АД определяют: сила сердечных сокращений или работа сердца; периферическое сопротивление току крови или тонус сосудов; объём циркулирующей крови; вязкость крови.

АД зависит от возраста, пола, массы тела, положения тела и интенсивности мышечной деятельности. У крупных с.-х. животных АД измеряют на хвостовой или запястной артериях, у собак и кошек – на запястной или бедренной. Определяют двумя способами: *прямой* (кровавый) используют в экспериментальной работе, в артерию вводят иглу или канюлю и соединяют её с манометром; *непрямой* (косвенный) – бескровный метод измерения артериального давления с помощью аппарата С. Рива-Роччи (тонометр) с аускультацией тонов Н.С. Короткова.

Прямой метод измерения артериального давления



Непрямой метод определения артериального давления



Средние показатели артериального давления у животных

Вид животного	Показатель АД (мм рт. ст)
Лошадь	172/123
Корова	98-128/69-99
Овца	151/114
Свинья	139/99
Собака	90/120
Кошка	100/150
Кролик	110/80

Центральное венозное давление – давление в крупных венах в месте их впадения в правое предсердие – важная клиническая характеристика, необходимая для оценки насосной функции сердца. Решающее значение имеет давление в правом предсердии – регуляторе баланса между способностью сердца откачивать кровь из правого предсердия и правого желудочка в лёгкие и возможностью крови поступать из периферических вен в правое предсердие (венозный возврат).

Кровяное давление в различных сосудах (мм рт. ст.): аорта – 150-180; артерия – 110-140; артериальный конец капилляра – 20-40; венозный конец капилляра – 15-20; венулы – 12-18; вены – 5-7; полые вены – 0.

Артериальный, капиллярный

(микроциркуляция) и венозный кровоток

Артерии – кровеносные сосуды, транспортирующие кровь от сердца. Различают артерии эластического типа, артерии мышечного типа, артериолы, терминальные артериолы (прекапилляры).

***Артериальный пульс* – это периодические колебания объёма сосудов, связанные с динамикой их кровенаполнения и давления в них в течение одного сердечного цикла. Его исследуют на хвостовой, бедренной, запястной, плечевой артериях. Методом пальпации определяют частоту (в норме она соответствует частоте сокращений сердца); наполнение, напряжение артериальной стенки, ритмичность, быстроту наполнения и спадения сосуда.**

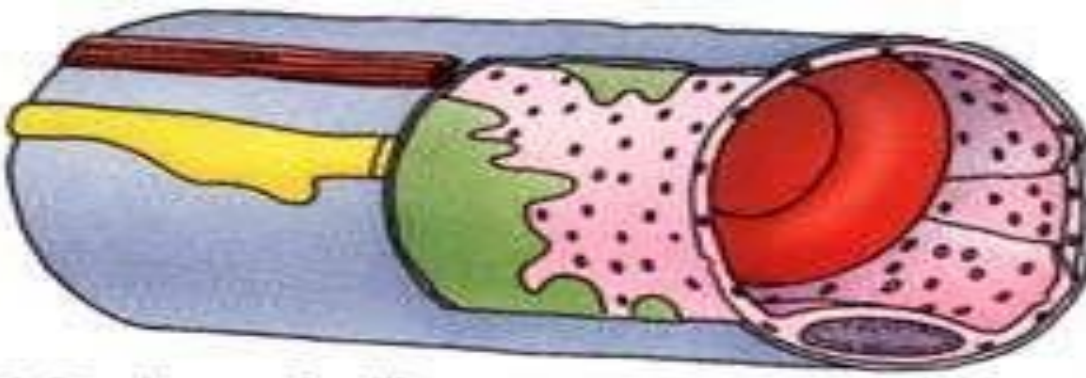
Капилляры участвуют в обмене веществ между кровью и тканями. Диаметр капилляров от 4 до 20 мкм, в среднем 7-8 мкм. Длина капилляра от 50 до 1000 мкм. Плотность капилляров в различных органах существенно варьирует. Так, на 1 мм³ миокарда, головного мозга, печени, почек приходится 2500-3000 капилляров; в скелетной мышце – 300-1000 капилляров. Стенка капилляра образована эндотелием, лежащим в один слой, его базальной мембраной и перицитами.

Типы капилляров

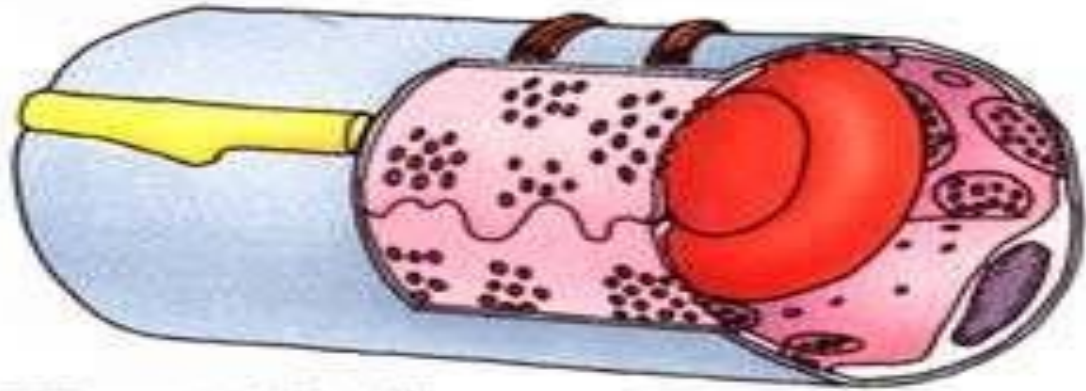
Соматический (с непрерывным эндотелием) характерен для мышц и лёгких;

Висцеральный (с фенестрированным эндотелием), присутствуют в капиллярных клубочках почки, эндокринных железах, ворсинках кишки. Фенестра – истончённый участок эндотелиальной клетки диаметром 50-80 нм, облегчающий транспорт веществ через эндотелий;

Синусоидный (с прерывистым эндотелием), присутствует в кроветворных органах.



A Continuous Capillary



B Fenestrated Capillary



C Sinusoidal (discontinuous) Capillary

Механизм капиллярного кровообращения

Под прямым углом от артериолы отходят терминальные артериолы, а уже от них берут начало анастомозирующие между собой истинные капилляры, образующие сеть. В местах отделения капилляров от терминальных артериол имеются прекапиллярные сфинктеры, контролирующие локальный объём крови, проходящий через истинные капилляры. Объём же крови, проходящей через терминальное сосудистое русло в целом, определяется тонусом гладкомышечных клеток артериол. В микроциркуляторном русле присутствуют артериовенозные анастомозы, связывающие артериолы непосредственно с венулами или мелкие артерии с мелкими венами.

Arteriole - *артериола* - Arteriole

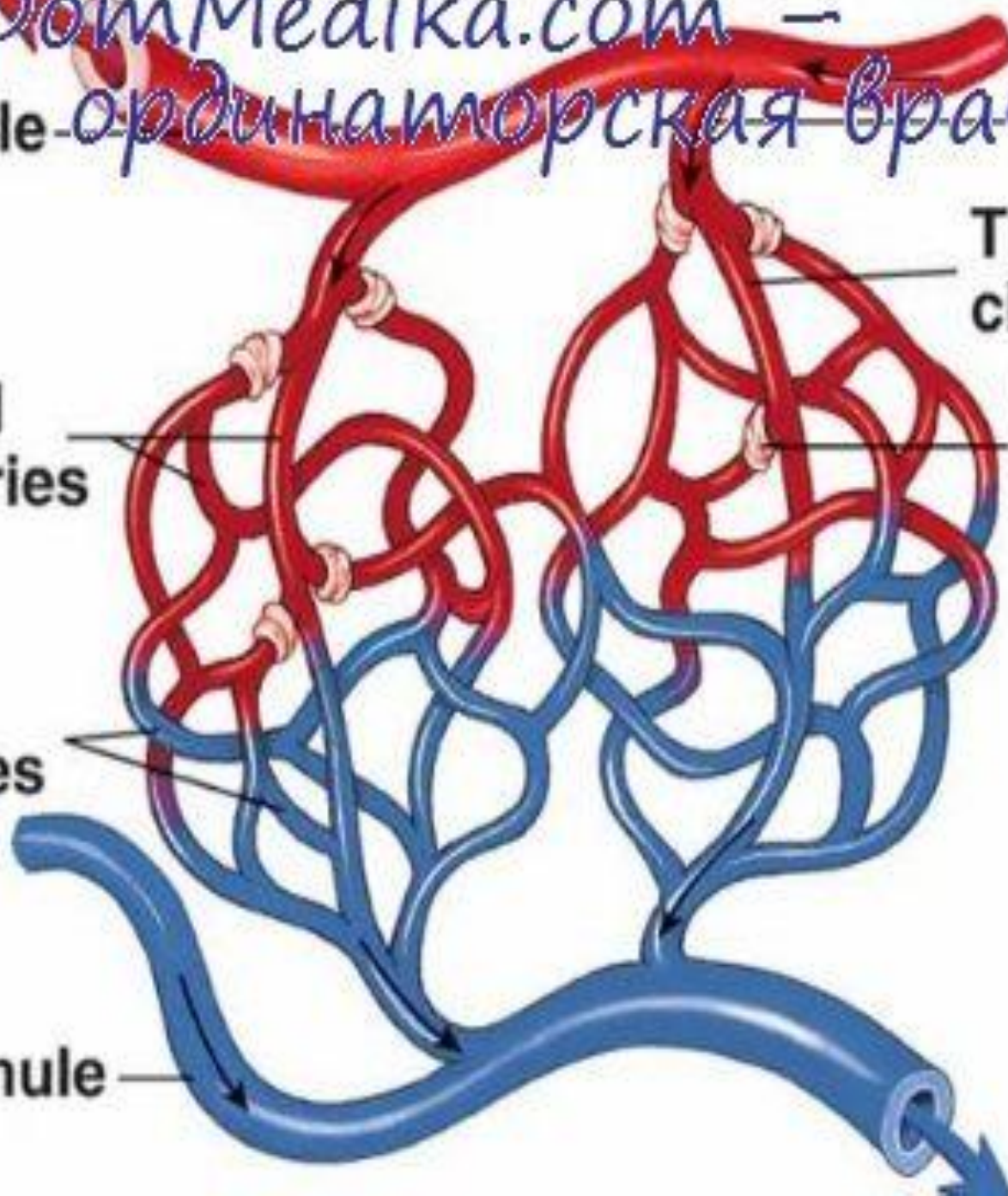
Thoroughfare
channel

Arterial
capillaries

Precapillary
sphincter

Venous
capillaries

Venule



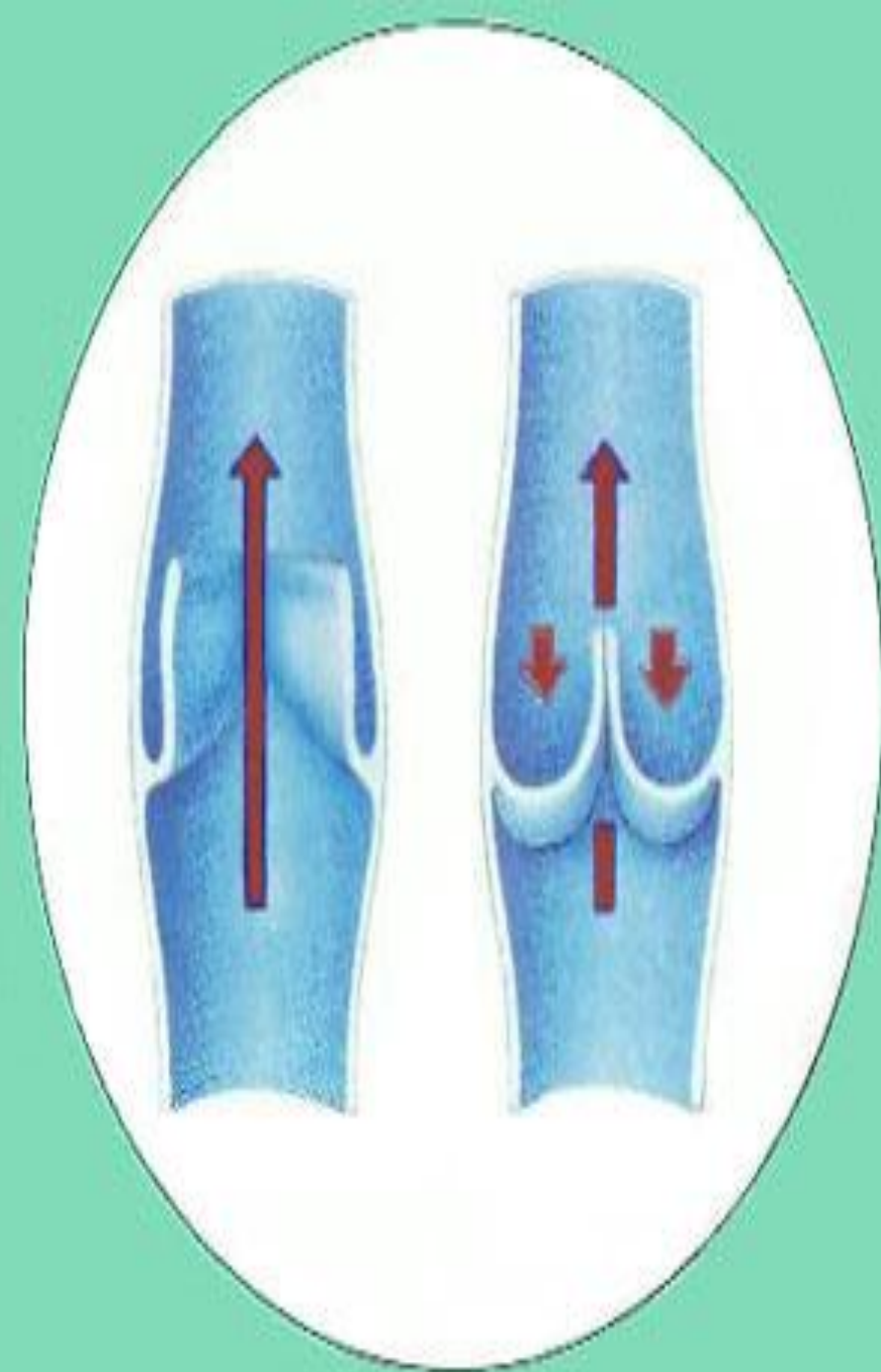
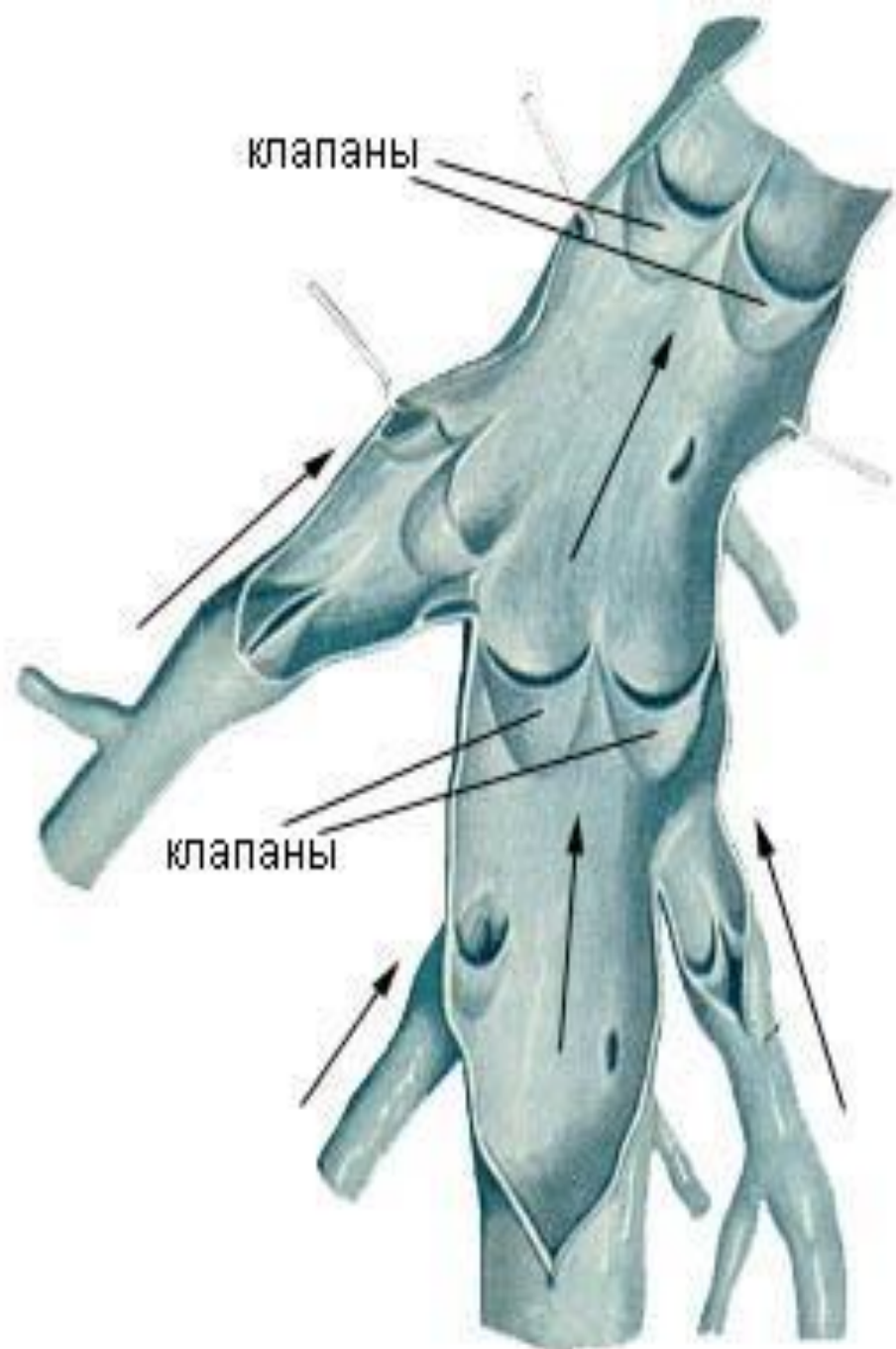
Величина капиллярного кровотока регулируется:

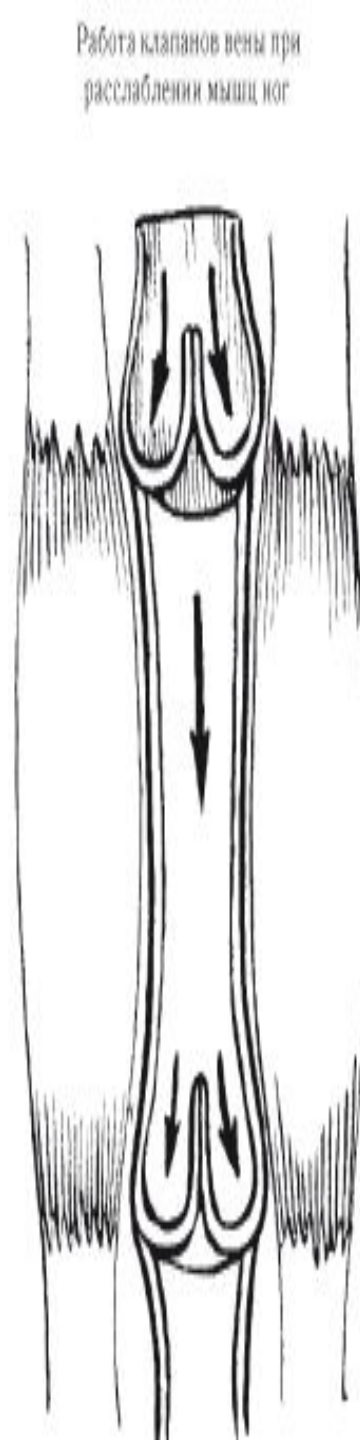
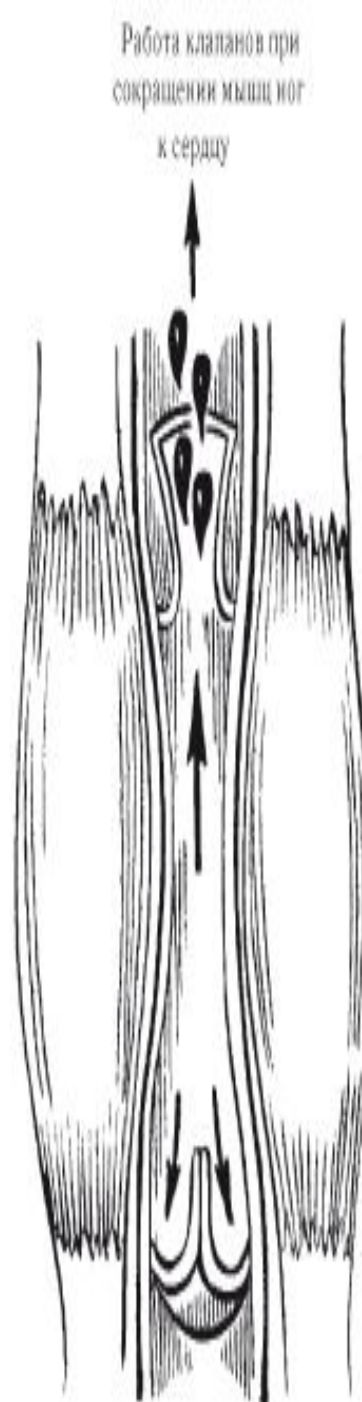
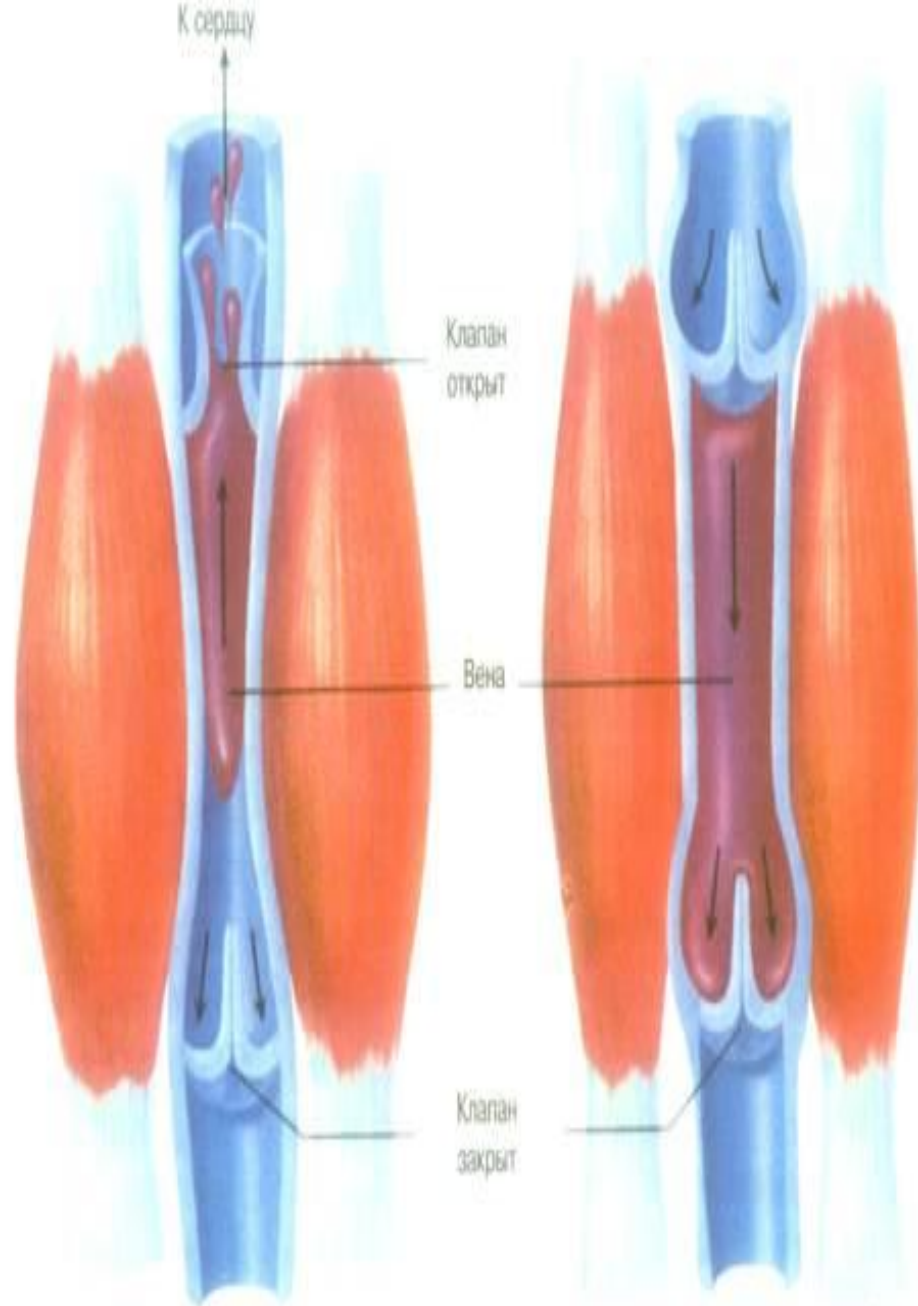
- изменением тонуса резистивных прекапиллярных сосудов. При расширении артериол наполнение капилляров увеличивается, при сужении – уменьшается;**
- работой прекапиллярных сфинктеров. Их сокращение прекращает приток крови в капилляр, а расслабление – возобновляет;**
- изменением тонуса резистивных посткапиллярных сосудов. Соотношение прекапиллярного к посткапиллярному сопротивлению определяет величину капиллярного гидростатического давления;**
- изменением объёма эндотелиальных клеток капилляров. При их набухании объём крови в капиллярах уменьшается.**

Вены – сосуды, по которым кровь оттекает от органов и тканей к сердцу. Кровь из капилляров последовательно поступает в венулы: посткапиллярные, собирательные, мышечные. Венулы впадают в вены, они более растяжимы, чем артерии и менее эластичны. Податливость (т.е. способность резервировать кровь из кровообращения в ответ на каждый миллиметр ртутного столба повышенного давления) вены в 24 раза больше, чем в соответствующей артерии, потому что она в 8 раз растяжимее. В конечностях кровь поднимается по венам вверх, преодолевая силу тяжести.

Механизмы, способствующие перемещению крови в одном направлении

- наличие кармашковых клапанов, препятствующих обратному току крови;**
 - ритмические сокращения скелетных мышц, «выжимающих» кровь из вен;**
 - присасывающее действие сердца;**
 - присасывающее действие грудной клетки.**
- Венозный кровоток усиливается во время каждого вдоха за счёт повышения отрицательного давления в грудной полости;**
- давление диафрагмы на органы брюшной полости во время вдоха.**





**Венный пульс — колебания
давления и объёма в
околосердечных венах за
время одного сердечного
цикла, связанные с
динамикой оттока крови в
правое предсердие в разные
фазы систолы и диастолы.**

Кровяное депо

Около 60% крови циркулирует в сосудистом русле (циркулирующая фракция крови), а около 40% крови составляет депонированную фракцию.

К депо крови относят: печень, депонирует в венах и синусах 16% крови, селезёнку, лакуны которой могут депонировать до 20% крови, крупные вены брюшной полости, капилляры подсосочкового слоя кожи, способные депонировать 10% крови, лёгкие. Значение депонированной крови в том, что когда организм находится в состоянии физиологического покоя депонирование крови снижает нагрузку на сердце, и в результате оно работает на 1/5-1/6 своей мощности.

Емкость депо крови уменьшается при мышечной нагрузке, повышении температуры внешней среды, гипертермии (лихорадка, ожоги), кровопотере, гипоксии, беременности, стрессах, анемиях различного генеза.

В механизмах перераспределения крови между депонированной и циркулирующей фракциями участвует вегетативная нервная система: симпатические нервы вызывают увеличение ОЦК, а парасимпатические – переход крови в депо.

Регуляция кровообращения

Локальные ауторегуляторные механизмы

Различают два механизма ауторегуляции:

миогенная – обусловлена сократительным ответом гладкомышечных клеток на растяжение;

метаболическая – обусловлена накоплением сосудорасширяющих веществ в работающих тканях. Уменьшение кровотока приводит к накоплению вазодилататоров и сосуды расширяются. Когда кровоток

увеличивается, эти вещества удаляются.

Рефлекторная регуляция сосудистого тонуса

Все кровеносные сосуды, содержащие в своей стенке гладкомышечные клетки, иннервируются моторными волокнами симпатического отдела вегетативной нервной системы (сосудодвигательные или вазомоторные).

Вазомоторные нервы подразделяются на две группы:

вазоконстрикторы (сосудосуживающие). Большинство их относятся к симпатическим нервам, в их окончаниях выделяется норадреналин, поэтому они называются адренергическими. Находятся в состоянии постоянного тонуса; *вазодилататоры* (сосудорасширяющие). Находятся в составе некоторых парасимпатических нервов (VII, IX, X черепномозговых, тазовых) и симпатических нервов, иннервирующих резистивные сосуды скелетных мышц, сосуды сердца, лёгких, почек и матки. В окончаниях волокон этих нервов выделяется ацетилхолин, поэтому они называются холинергическими.

Сосудодвигательный центр – группы нейронов, расположенные билатерально в ретикулярной формации продолговатого мозга и нижней трети моста. Сосудодвигательный центр включает два отдела – сосудосуживающий (прессорный) и сосудорасширяющий (депрессорный). Сосудосуживающий центр постоянно передаёт сигналы в боковые рога грудных сегментов спинного мозга, откуда по симпатическим нервам они передаются на ГМК артерий и артериол. Сосуды суживаются и АД повышается. При раздражении сосудорасширяющего отдела возбуждение передаётся по волокнам блуждающего нерва или парасимпатических нервов, выходящих из пояснично-крестцового отдела спинного мозга, артериальные сосуды расширяются, и давление в них падает. Сосудодвигательный центр находится под контролем вышележащих отделов ЦНС.

Сосудистые рефлексы подразделяются на:

- собственные*** – возникают при раздражении рецепторов, находящихся в самих кровеносных сосудах;
- сопряженные*** – проявляются при раздражении рецепторов в органах (коже, брюшине, скелетных мышцах). Результатом этих раздражений обычно бывает сужение сосудов и повышение АД;
- местный нервный механизм*** или аксон-рефлекс, например, механическое или химическое раздражение кожи сопровождается локальным расширением сосудов.

Регуляция артериального давления осуществляется с помощью рефлекторных контролирующих механизмов, функционирующих на основании принципа обратной связи:

барорецепторный рефлекс. Барорецепторы имеются в стенке почти всех крупных артерий в области грудной клетки и шеи, особенно много их в каротидном синусе и в стенке дуги аорты. Импульсация от них, вызванная подъёмом АД, передаётся по аортальному нерву (депрессору) и по синусному нерву Геринга в продолговатый мозг, тормозит сосудосуживающий центр и возбуждает центр блуждающего нерва, откуда импульсы направляются и к гладким мышцам сосудов, расширяя последние, и к сердцу, уменьшая частоту и силу его сокращений;

хеморецепторы каротидного синуса и аорты – хемочувствительные клетки, реагирующие на недостаток O_2 , избыток CO_2 и H^+ , расположенные в каротидных и в аортальных тельцах. Нервные волокна от телец вместе с барорецепторными волокнами идут в сосудодвигательный центр. При уменьшении АД хеморецепторы стимулируются, поскольку снижение кровотока уменьшает содержание O_2 и увеличивает концентрацию CO_2 и H^+ . Импульсация от хеморецепторов возбуждает сосудодвигательный центр и способствуют повышению АД.

Гуморальная регуляция кровообращения
Гуморальная регуляция осуществляется
различными веществами, действующими
как на нервные структуры, так и
непосредственно на гладкие мышцы
кровеносных сосудов. Вещества,
способные изменять тонус гладких мышц
сосудов, подразделяют на две группы –
вазоконстрикторы и вазодилататоры.

Вазоконстрикторы

Катехоламины (адреналин, норадреналин). Реакции сосудов на них зависят от наличия в сосудах α и β рецепторов. Возбуждение α -рецепторов сопровождается сокращением гладких мышц, β -рецепторов – расслаблением. Норадреналин действует преимущественно на α -, адреналин – на α -, и β -адренорецепторы. В большинстве сосудов имеются оба типа рецепторов, но их количество и соотношение может быть разным. Если в сосудах больше α -рецепторов, то адреналин вызывает их сужение, а если больше β -рецепторов – то их расширение. Порог возбуждения β -рецепторов ниже, чем α -рецепторов, поэтому в малых дозах адреналин вызывает расширение сосудов, а в больших – сужение. Адреналин вызывает сужение сосудов кожи, лёгких и органов брюшной полости, расширение артериальных сосудов скелетных мышц, сердца и мозга.

Ренин-ангиотензиновая система. Ренин – гормон, образуется в почках, превращает ангиотензиноген крови в ангиотензин-I. В сосудах лёгких ангиотензин-I превращается в ангиотензин-II, сужает артериолы и вены и стимулирует выработку в надпочечниках гормона альдостерона, способствующего реабсорбции натрия и воды из почечных канальцев. В результате увеличивается объём крови и её давление.

Вазопрессин — повышает АД, непосредственно влияя на кровеносные сосуды. Также препятствует выведению воды почками, что вызывает увеличение объёма крови.

Серотонин — сужает кровеносные сосуды и тем самым уменьшает кровоток в тканях. Влияние серотонина зависит от тонуса сосудов: при высоком тонусе сосудов он является дилататором, а при низком — вазоконстриктором.

Простагландины F2, H2, – вызывают местное сужение сосудов.

Тромбоксаны A2, B2 способствуют вазоконстрикции.

Эндотелины синтезируются эндотелиальными клетками, это мощные вазоконстрикторы;

Ионы Ca^{2+} вызывают вазоконстрикцию в результате стимуляции сокращения ГМК сосудов.

Кинины (брадикинин и каллидин) образуются в железах ЖКТ, в лёгких и в других органах из кининогенов под действием калликреинов. Кинины вызывают расслабление ГМК сосудов и снижение АД.

Предсердный натрийуретический пептид повышает экскрецию почками натрия и хлора, вслед за натрием по осмотическому градиенту удаляется вода и тем самым уменьшается объём крови и АД.

Вазодилататоры

Ацетилхолин – взаимодействует с М-холинорецепторами в мембранах ГМК сосудов, что приводит к увеличению содержания цГМФ, который вызывает внутриклеточные механизмы расслабления миофибрилл.

Гистамин — вызывает местное расширение артериол, капилляров и венул, увеличивает проницаемость капилляров.

Медуллин — вызывает расширение кровеносных сосудов.

Простагландины E2, D2, I2 — вызывают местное расширение сосудов.

Лейкотриены E4, D4, C4 — вызывают местное расширение сосудов.

Оксид азота (NO) – синтезируется эндотелиальными клетками сосудов оказывает расслабляющее воздействие на ГМК сосудистой стенки.

Ионы K^+ . Влияние калия зависит от его концентрации в крови. При невысоком уровне – расширение сосудов, при высоком – сужение.

Ионы натрия, магния являются вазодилататорами.

Соли соляной, азотной и др. кислот, ацетаты, цитраты – дилататоры.