Волгоградский государственный медицинский университет
Кафедра нормальной физиологии

Региональное кровообращение

Кудрин Р.А.

План

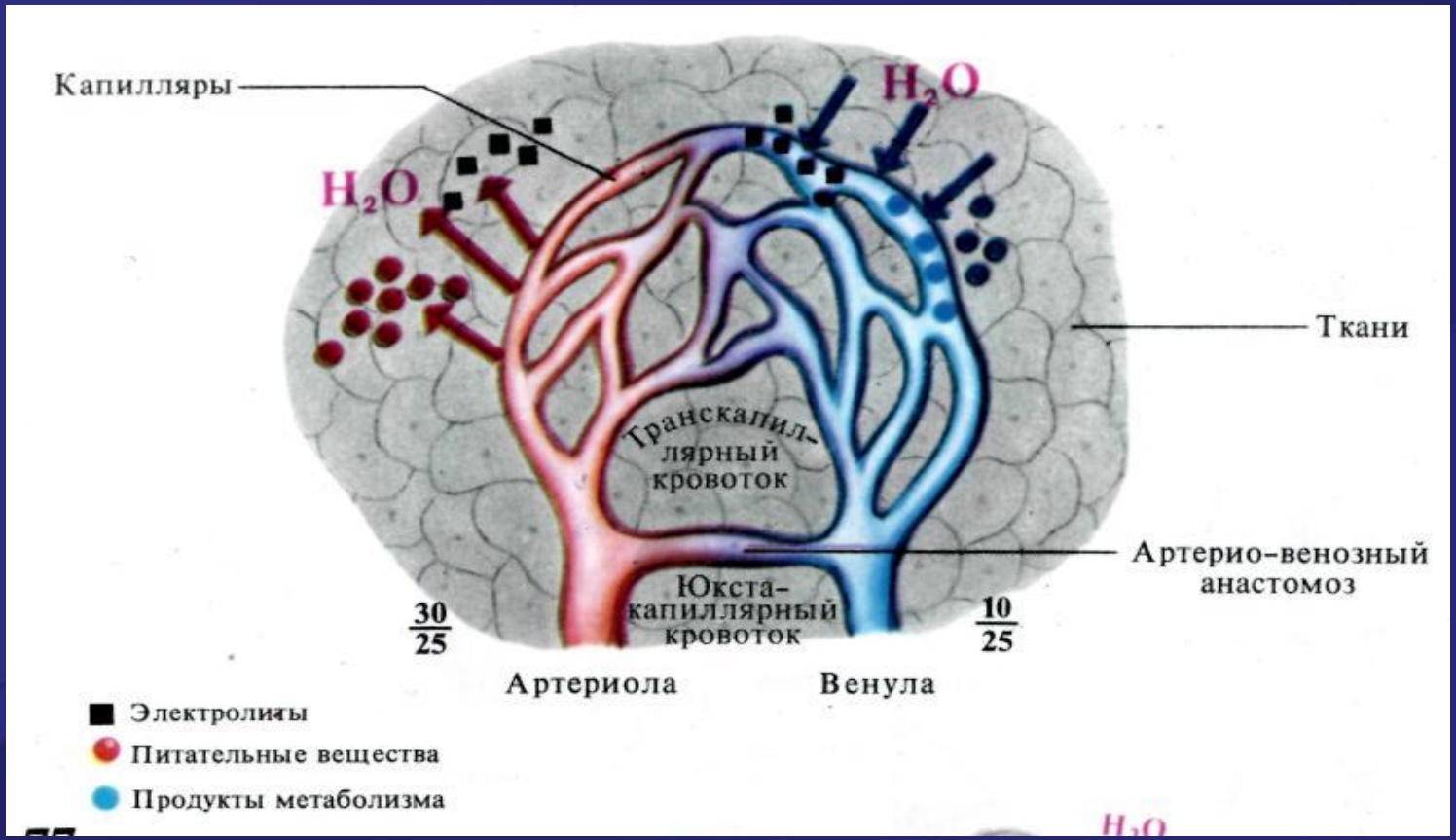
1. Микроциркуляция, её компоненты, характеристика.
2. Капиллярный кровоток, его функциональная характеристика и параметры.
3. Особенности регионального кровообращения.
4. Особенности кровообращения сердца.
5. Особенности кровообращения головного мозга.
6. Особенности кровообращения лёгких.

1. Микроциркуляция, её компоненты, характеристика

Микроциркуляция – процесс движения крови по сосудам, диаметр которых не превышает 2 мм,

Микроциркуляция включает процессы, связанные с **внутриорганным кровообращением**, обеспечивающим тканевое перераспределение и депонирование крови.

1. Микроциркуляция, её компоненты, характеристика

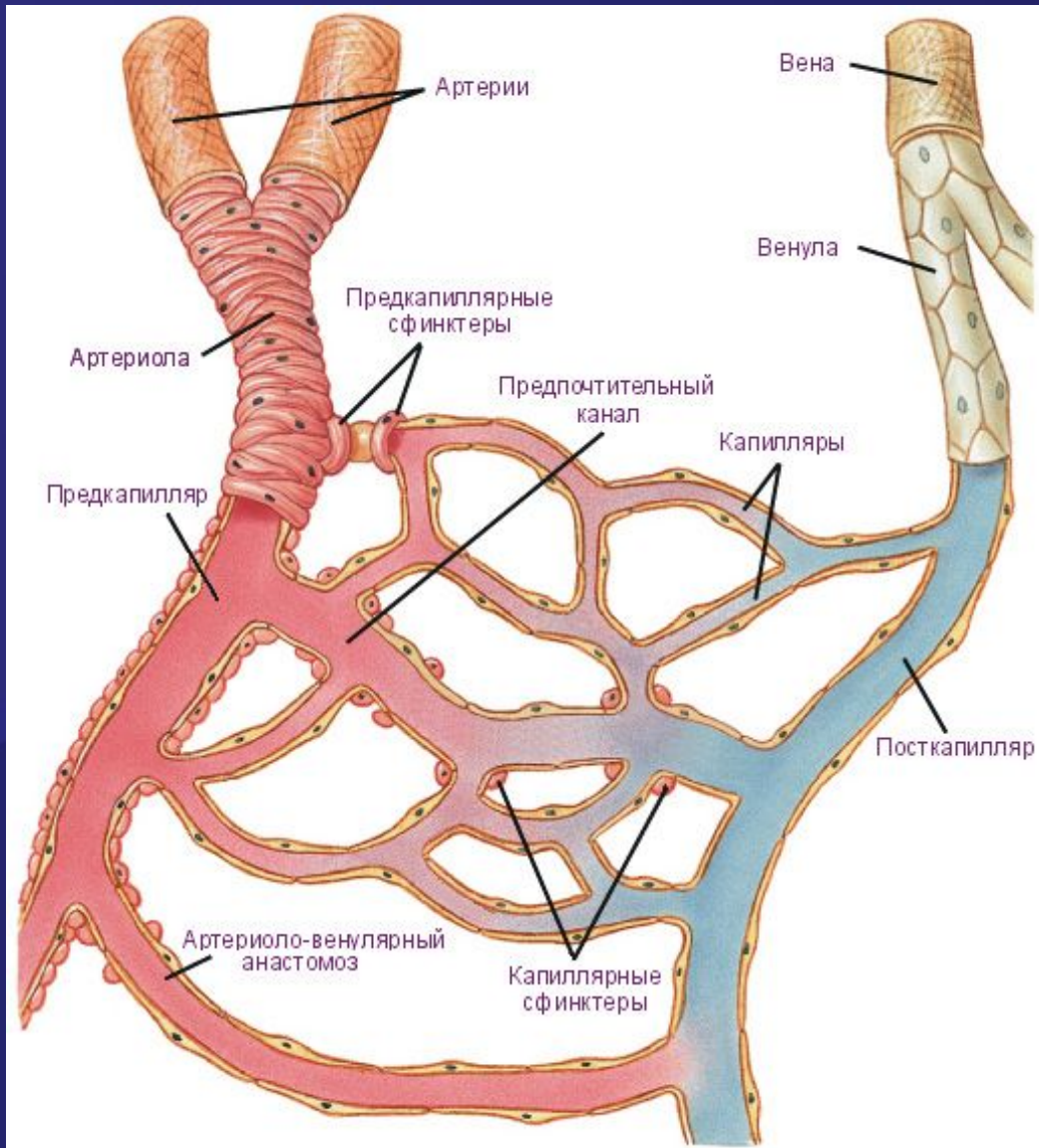


1. Микроциркуляция, её компоненты, характеристика

В **состав микроциркуляторной системы** входят:

1) терминальные артериолы и метартериолы;
2) прекапиллярный сфинктер;
3) собственно капилляр;
4) посткапиллярная венула;
5) венула;
6) мелкие вены;
7) артерио-венозные анастомозы.

1. Микро-циркуля-ция, её компонен-ты, харак-теристика



1. Микроциркуляция, её компоненты, характеристика

Причём, каждый компонент микроциркуляторной единицы выполняет определённые функции в процессе микроциркуляции.

Например, терминальные **артериолы и метартериолы, а также прекапиллярные сфинктеры по отношению к капиллярам** выполняют транспортную функцию, то есть они приносят кровь к капиллярам и называются **приносящими сосудами**.

1. Микроциркуляция, её компоненты, характеристика

Кроме того, меняя величину просвета за счёт сокращения или расслабления гладкомышечных элементов, регулируют объём кровотока:

1) увеличение сопротивления току крови (при уменьшении просвета сосуда) уменьшает объём движения крови;

2) уменьшение сопротивления току крови (при увеличении просвета сосуда) увеличивает объём кровотока.

1. Микроциркуляция, её компоненты, характеристика

Вследствие этого меняется и давление крови в капиллярах.

Капилляры и посткапиллярные венулы называются **обменными сосудами**, так как в них осуществляются обменные процессы.

Центральным звеном микроциркуляторной системы являются капилляры.

2. Капиллярный кровоток, его функциональная характеристика

Стенка капилляра состоит из трёх слоёв:

1) слой эндотелиальных клеток;
2) базальный слой, состоящий из перицитов и сплетённых между собой фибрилл;
3) адвентициальный слой.

Ультраструктура стенки капилляра в различных органах имеет свою специфику (соотношение слоёв между собой, характер эндотелиальных клеток), что лежит в основе общей классификации капилляров.

2. Капиллярный кровоток, его функциональная характеристика

Выделяют три типа капилляров.

1. **Сплошные капилляры (соматические)**. Стенка капилляров этого типа образована сплошным слоем эндотелиальных клеток, в мембране которых имеются мельчайшие поры. Стенка таких капилляров мало проницаема для крупных молекул белка, но легко пропускает воду и растворённые в ней минеральные вещества.

Этот тип характерен для скелетной и гладкой мускулатуры, лёгких, центральной нервной системы, жировой и соединительной тканей.

2. Капиллярный кровоток, его функциональная характеристика

2. **Окончатые (висцеральные)**. В стенке капилляров этого типа имеются «окна» (фенестры), которые могут занимать до 30 % площади поверхности клетки.

Такие капилляры характерны для органов, которые секретируют и всасывают большое количество воды и растворённые в ней вещества, или участвуют в быстром транспорте макромолекул (почечные клубочки, специальные оболочки кишечника).

2. Капиллярный кровоток, его функциональная характеристика

3. **Межклеточно-окончатые**, не сплошные капилляры. Капилляры этого типа имеют прерывистую эндотелиальную оболочку, клетки эндотелия расположены далеко друг от друга, образуя большие межклеточные пространства. Через их стенку легко проходят макромолекулы и форменные элементы крови.

Такой тип капилляров встречается в костном мозге, селезёнке, печени.

2. Капиллярный кровоток, его функциональная характеристика

Механизм транскапиллярного обмена может осуществляться:

1) за счёт **пассивного транспорта** (диффузия, фильтрация, осмос),
2) за счёт **активного транспорта** (работа транспортных систем) и
3) за счёт **микропиноцитоза**.

2. Капиллярный кровоток, его функциональная характеристика

Фильтрационно-абсорбционный механизмм обмена между кровью и интерстициальной жидкостью.

Этот механизм обеспечивается за счёт действия следующих сил.

В **артериальном отделе капилляра** большого круга кровообращения **гидростатическое давление крови = 40 мм рт. ст.**

Сила этого давления способствует выходу (фильтрации) воды и растворённых в ней веществ из сосуда в межклеточную жидкость.

2. Капиллярный кровоток, его функциональная характеристика

Онкотическое давление плазмы крови = 30 мм рт. ст. препятствует фильтрации, так как белки удерживают H_2O в сосуде.

Онкотическое давление межклеточной жидкости = 10 мм рт. ст. способствует фильтрации, то есть выходу H_2O из сосуда.

Таким образом **результирующая всех сил**, действующих в артериальном отделе капилляра = **20 мм рт. ст.** (40 + 10 – 30) и направлена из капилляра.

2. Капиллярный кровоток, его функциональная характеристика

В венозном отделе капилляра фильтрация осуществляется за счёт следующих факторов:

1) **гидростатическое давление крови** = 10 мм рт. ст.;
2) **онкотическое давление плазмы крови** = 30 мм рт. ст.;
3) **онкотическое давление межклеточной жидкости** = 10 мм рт. ст.

Результирующая всех сил = 10 мм рт. ст.

(– 10 + 30 – 10 = 10 мм рт. ст) – это давление направлено в сторону капилляра.

2. Капиллярный кровоток, его функциональная характеристика

В венозном отделе капилляра происходит абсорбция H_2O и растворённых веществ.

В артериальном отделе капилляра жидкость выходит под воздействием силы в 2 раза больше, чем она входит в капилляр в его венозном отделе.

Возникающий **избыток жидкости из интерстициальных пространств** оттекает через лимфатические капилляры в лимфатическую систему.

2. Капиллярный кровоток, его функциональная характеристика

В капиллярах малого круга транскапиллярный обмен осуществляется за счёт действия следующих сил:

1) **гидростатическое давление крови** в капиллярах = 20 мм рт. ст.
2) **онкотическое давление плазмы крови** = 30 мм рт. ст.
3) **онкотическое давление межклеточной жидкости** = 10 мм рт. ст.

Результирующая всех сил = 0 мм рт. ст. – то есть в капиллярах малого круга кровообращения обмена жидкости не происходит.

2. Капиллярный кровоток, его функциональная характеристика

Диффузионный механизм транскапиллярного обмена осуществляется в результате разности концентрации веществ в капилляре и межклеточной жидкости.

Данное обстоятельство обеспечивает движение веществ по концентрационному градиенту. Такое движение возможно потому, что размеры молекул этих веществ меньше пор мембраны и межклеточных щелей. Жирорастворимые вещества проходят через мембрану независимо от величины пор и щелей, растворяясь в её липидном слое (эфиры, CO_2 и др.).

2. Капиллярный кровоток, его функциональная характеристика

Активный механизм обмена осуществляется эндотелиальными клетками капилляров, которые при помощи транспортных систем их мембран переносят молекулы веществ (гормоны, белки, биологически активные вещества) и ионы.

Пиноцитозный механизм обеспечивает транспорт через стенку капилляра крупных молекул и фрагментов частей клеток через процессы эндо- и экзопиноцитоза.

3. Особенности регионарного кровообращения

Каждый орган и каждая ткань – мозг, сердце, лёгкие, печень, кожа, мышцы – обладают индивидуальными физиологическими особенностями кровообращения.

Непрерывность движения крови в организме человека обеспечивается как системой последовательно соединённых сосудов, осуществляющих системную гемодинамику, так и системой параллельно подключённых к аорте и полым венам сосудистых русел, представленных сосудами различных органов и обеспечивающих регионарную гемодинамику.

3. Особенности регионарного кровообращения

Хотя в каждом отдельно взятом органе (регионе) кругооборот крови в процессе её движения не совершается, для обозначения гемодинамики в органах употребляется термин «регионарное кровообращение».

Главное назначение кровообращения, в обеспечении обмена газами, веществами и продуктами их метаболизма, а также тепловой энергией между кровью и клетками тканей, реализуется на уровне сосудистой системы органов.

3. Особенности регионарного кровообращения

Именно здесь осуществляется непосредственное соприкосновение обменных сосудов с тканевыми элементами, а структурные особенности строения стенки кровеносных капилляров и низкая линейная скорость кровотока в них создают оптимальные условия для полноценного осуществления обменно-транспортной функции кровообращения. Кроме того, процессы непрерывного приспособления организма к постоянно изменяющимся условиям внешней и внутренней среды вовлекают в активную деятельность различные регионы и группы органов.

3. Особенности регионарного кровообращения

Это требует чёткой координации и высокой надёжности в адекватном перераспределении крови между работающими органами. Наконец, сосудистые сети органов, выполняя в общей схеме устройства сердечно-сосудистой системы роль параллельно включённых проводников, в значительной мере определяют величину общего периферического сопротивления сосудов и тем самым влияют на показатели системной гемодинамики.

3. Особенности регионарного кровообращения

В то время как кровообращение в мышцах и большинстве внутренних органов определяется общими принципами и закономерностями, описанными выше, кровообращение в ряде регионов требует специального рассмотрения.

4. Особенности кровообращения сердца

Поперечно-полосатая мускулатура сердца в отличие от скелетной характеризуется высоким потреблением энергии аэробного происхождения, что обусловливает значительную потребность миокарда в интенсивном кровоснабжении. Доставка артериальной крови в миокард осуществляется венечными (коронарными) артериями, которые, разветвляясь и широко анастомозируя во всех слоях и отделах сердца, образуют густую сеть капилляров и практически каждое мышечное волокно снабжено собственным обменным сосудом.

4. Особенности кровообращения сердца

Венозный отток от миокарда осуществляется через широкий венечный (коронарный) синус, открывающийся в полость правого предсердия. Прекращение кровотока по коронарным артериям при их закупорке или значительном спазме приводит к стойкому снижению кровоснабжения сердечной мышцы и к развитию инфаркта миокарда, что сопровождается нарушением нагнетательной функции сердца и может привести к смерти.

4. Особенности кровообращения сердца

Поскольку в системе коронарного русла достаточно хорошо представлен модульный принцип организации, аналогичные изменения кровотока в пределах отдельных сосудистых модулей могут проявиться в виде микроинфарктов, осложняющихся нарушением проводимости и сократимости сердечной мышцы.

4. Особенности кровообращения сердца

В состоянии функционального покоя у взрослого человека коронарный кровоток составляет 60-70 мл/100 г/мин. От общего сердечного выброса кровоснабжение миокарда составляет 4-5 %, то есть в среднем 200-250 мл/мин. В условиях интенсивной физической работы, когда происходит активация сердечной деятельности, объёмная скорость кровотока в сердечной мышце возрастает, достигая 350-400 мл/100 г/мин. (функциональная гиперемия).

4. Особенности кровообращения сердца

Коронарный кровоток существенно изменяется в зависимости от периода сердечного цикла. В период систолы желудочков интенсивность коронарного кровотока (особенно в миокарде левого желудочка) снижается, а во время диастолы увеличивается. Описанные периодические колебания объясняются двумя **основными причинами**:

1) пульсирующий характер давления в аорте;
2) изменения напряжения в стенке миокарда (основная причина).

4. Особенности кровообращения сердца

В систолу, когда это напряжение значительно возрастает, сдавливаются сосуды среднего и внутреннего слоёв миокарда, движение крови в левой коронарной артерии затруднено. В диастолу напряжение в миокарде падает, проходимость сосудов восстанавливается и кровоток увеличивается. В увеличении кровотока через миокард в период диастолы не исключена роль реактивной (постокклюзионной) гиперемии.

4. Особенности кровообращения сердца

Несмотря на выраженное снижение кровотока во время систолы, метаболические потребности миокарда при нормальной частоте сокращений сердца полностью удовлетворяются за счёт ряда функциональных особенностей:

1) высокая экстракция кислорода миоглобином мышцы сердца (до 75 %);

2) высокая объёмная скорость кровотока в миокарде;

3) высокая растяжимость коронарных сосудов;

4) фазные колебания кровотока в венах сердца противоположной направленности, а именно ускорение оттока крови в систолу и замедление его в диастолу.

4. Особенности кровообращения сердца

Вместе с тем в условиях тахикардии, когда происходит укорочение диастолы, эти функциональные особенности в меньшей степени компенсируют систолическое ограничение кровоснабжения сердца.

4. Особенности кровообращения сердца

Регуляция венечного кровообращения. Представлена **местными** и **дистантными** механизмами. Для сосудов миокарда характерна высокая выраженность базального тонуса, а также миогенная метаболическая активность гладко-мышечных клеток (ГМК). Диапазон ауторегуляции кровотока в сердечной мышце находится в пределах 70-160 мм рт. ст. Метаболическая регуляция коронарных сосудов проявляет наибольшую активность по отношению к тканевому PO_2, концентрациям аденозина и метаболитам макроэргических соединений.

4. Особенности кровообращения сердца

Симпатические адренергические нервные волокна вызывают в ряде случаев (физическая работа, стенические отрицательные эмоции) расширение венечных сосудов и увеличение кровотока в миокарде.

Наряду с этим в других условиях (астенические отрицательные эмоции, боль и т. п.) наблюдаются симпатические коронаросуживающие эффекты.

4. Особенности кровообращения сердца

Причины таких противоположных влияний связывают с избирательной «настройкой» чувствительности α- и β-адренорецепторов, широко представленных в ГМК коронарных сосудов, а также с концентрацией катехоламинов, которые в зависимости от «дозы-эффекта» вмешиваются в метаболизм ГМК и интерстициальной ткани.

Парасимпатические холинергические влияния, опосредованно, угнетая сократительную активность сердечной мышцы, снижают её метаболические потребности и тем самым приводят к снижению кровоснабжения миокарда.

5. Особенности кровообращения головного мозга

5. Особенности кровообращения головного мозга

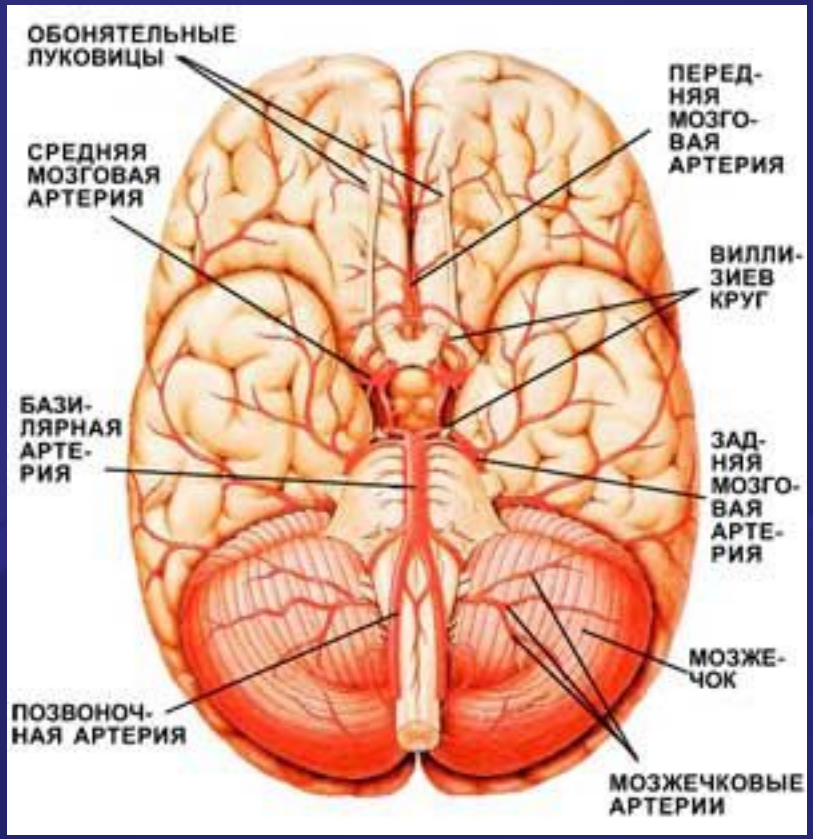
Головной мозг характеризуется непрерывно протекающими энергоёмкими процессами, требующими потребления глюкозы мозговой тканью. Известно, что нервная ткань практически не обладает ни субстратом для анаэробных окислительных процессов, ни запасами кислорода, а, следовательно, для нормального функционирования мозга необходима высокая интенсивность его кровоснабжения. В связи с этим головной мозг, средняя масса которого 1400-1500 г, в состоянии функционального покоя получает около 750 мл/мин. крови, что составляет примерно 15 % от сердечного выброса.

5. Особенности кровообращения головного мозга

Объёмная скорость кровотока при этих условиях соответствует 50-60 мл/100 г/мин. Серое вещество обеспечивается кровью интенсивнее, чем белое, что обусловлено более высокой клеточной активностью.

У детей первого года жизни величина кровотока на 50-55 % больше, а в старческом возрасте примерно на 20 % меньше, чем у человека в зрелом возрасте.

5. Особенности кровообращения головного мозга



5. Особенности кровообращения головного мозга

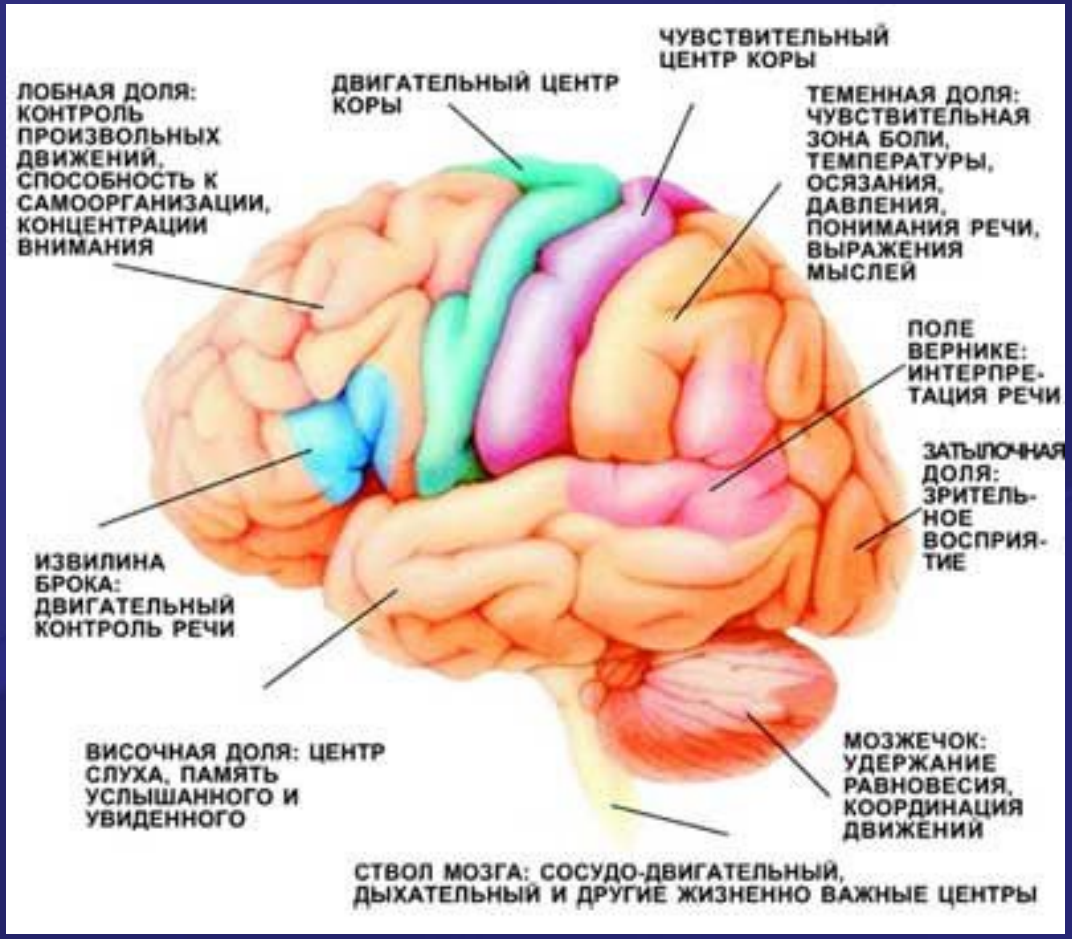
Снижение интенсивности кровоснабжения головного мозга чревато развитием дефицита кислорода и глюкозы в мозговой ткани, что может привести к нарушениям деятельности мозга.

В здоровом организме, благодаря надёжным механизмам ауторегуляции мозгового кровотока, питание мозга остаётся практически неизменным при падении системного АД вплоть до 50 мм рт. ст.

5. Особенности кровообращения головного мозга

Регуляция мозгового кровообращения. Известно, что мозг расположен в ригидном костном образовании — черепе (исключение составляют дети грудного возраста, у которых имеются роднички, придающие некоторую подвижность стенкам черепной коробки). Поскольку в полости черепа, помимо мозгового вещества, содержатся кровь и цереброспинальная жидкость, являющиеся малосжимаемыми жидкостями, их общий объём остаётся почти постоянным.

5. Особенности кровообращения головного мозга



5. Особенности кровообращения головного мозга

Помимо ауторегуляции кровотока, предохранение головного мозга как органа, близко расположенного к сердцу, от высокого кровяного давления и избыточности пульсации осуществляется и за счёт особенностей строения сосудистой системы мозга.

В частности, эту функцию достаточно эффективно выполняют многочисленные изгибы (сифоны) по ходу сосудистого русла, которые способствуют значительному перепаду давления и сглаживанию пульсирующего кровотока.

5. Особенности кровообращения головного мозга

В активно работающем мозге возникает потребность в увеличении интенсивности кровоснабжения. Благодаря феномену функциональной (рабочей) гиперемии такая возросшая потребность полностью удовлетворяется, не вступая в противоречие с необходимостью предотвращения головного мозга от избыточности кровенаполнения. Объясняется это специфическими особенностями мозгового кровообращения.

5. Особенности кровообращения головного мозга

Во-первых, при повышенной активности всего организма (усиленная физическая работа, эмоциональное возбуждение и т. д.) кровоток в мозге увеличивается примерно на 20-25 %, что не оказывает повреждающего действия, поскольку мозг — единственный орган, основной сосудистый бассейн которого располагается на поверхности (система сосудов мягкой мозговой оболочки) и, за счёт расстояния до твёрдой мозговой оболочки, располагает резервом для некоторого кровенаполнения.

5. Особенности кровообращения головного мозга

Во-вторых, физиологически активное состояние человека (включая умственную деятельность) характеризуется развитием процесса активации в строго соответствующих нервных центрах (корковых представительствах функций), где и формируются доминантные очаги. В таком случае нет необходимости в увеличении суммарного мозгового кровотока, а лишь требуется внутримозговое перераспределение кровотока в пользу активно работающих участков мозга.

5. Особенности кровообращения головного мозга

Эта функциональная потребность реализуется путём активных сосудистых реакций, развивающихся в пределах соответствующих сосудистых модулей — структурно-функциональных единиц микрососудистой системы головного мозга.

Следовательно, **особенностью мозгового кровообращения является высокая гетерогенность и изменчивость распределения локального кровотока в микроучастках нервной ткани**.

6. Особенности кровообращения лёгких

Важнейшей особенностью организации кровоснабжения лёгких является её двухкомпонентный характер, поскольку лёгкие получают кровь из сосудов малого круга кровообращения и бронхиальных сосудов большого круга кровообращения. Функциональное значение сосудистой системы малого круга кровообращения состоит в обеспечении газообменной функции лёгких, тогда как бронхиальные сосуды удовлетворяют собственные циркуляторно-метаболические потребности лёгочной ткани.

6. Особенности кровообращения лёгких

Лёгочная артерия и её ветви диаметром более 1 мм являются сосудами эластического типа, что способствует значительному сглаживанию пульсации крови, поступающей во время систолы правого желудочка в лёгкие. Более мелкие артерии (диаметром от 1 мм до 100 мкм) относят к артериям мышечного типа. Они обусловливают величину гидродинамического сопротивления в малом круге кровообращения.

6. Особенности кровообращения лёгких

В самых мелких артериях (диаметром менее 100 мкм) и в артериолах содержание гладко-мышечных клеток прогрессивно снижается и в артериолах диаметром менее 45 мкм они полностью отсутствуют. Поскольку безмышечные артериолы тесно связаны с окружающей альвеолярной паренхимой, интенсивность кровоснабжения лёгких непосредственно зависит от интенсивности вентиляции альвеол.

6. Особенности кровообращения лёгких

Капилляры лёгких образуют на поверхности альвеол очень густую сеть и при этом на одну альвеолу приходится несколько капилляров. В связи с тем что стенки альвеол и капилляров тесно контактируют, образуя как бы единую альвеолярно-капиллярную мембрану, создаются наиболее благоприятные условия для эффективных вентиляционно-перфузионных взаимоотношений.

6. Особенности кровообращения лёгких

В условиях функционального покоя у человека капиллярная кровь находится в контакте с альвеолярным воздухом в течение примерно 0,75 с. При физической работе продолжительность контакта укорачивается более чем в два раза и составляет в среднем 0,35 с.

6. Особенности кровообращения лёгких

В результате слияния капилляров образуются характерные для лёгочной сосудистой системы безмышечные посткапиллярные венулы, трансформирующиеся в венулы мышечного типа и далее в лёгочные вены. Особенностью сосудов венозного отдела являются их тонкостенность и слабая выраженность гладко-мышечных клеток.

Структурные особенности лёгочных сосудов, в частности артерий, определяют большую растяжимость сосудистого русла, что создаёт условия для более низкого сопротивления (в 10 раз меньше, чем в системе большого круга кровообращения), а, следовательно, более низкого кровяного давления.

6. Особенности кровообращения лёгких

В связи с этим система малого круга кровообращения относится к области низкого давления. Давление в лёгочной артерии составляет в среднем 15-25 мм рт. ст., а в венах — 6-8 мм рт. ст. Градиент давления равен примерно 9-17 мм рт. ст., то есть значительно меньше, чем в большом круге кровообращения. Несмотря на это, повышение системного АД или же значительное увеличение кровотока (при активной физической работе человека) существенно не влияет на трансмуральное давление в лёгочных сосудах из-за их большей растяжимости.

6. Особенности кровообращения лёгких

Большая растяжимость лёгочных сосудов определяет ещё одну важную функциональную особенность этого региона, заключающуюся в способности депонировать кровь и тем самым предохранять лёгочную ткань от отёка при увеличении минутного объёма кровотока.

Минутный объём крови в лёгких соответствует минутному объёму крови в большом круге кровообращения и в условиях функционального покоя составляет в среднем 5 л/мин. При активной физической работе этот показатель может возрасти до 25 л/мин.

6. Особенности кровообращения лёгких

Распределение кровотока в лёгких характеризуется неравномерностью кровоснабжения верхних и нижних долей, так как низкое внутрисосудистое давление определяет высокую зависимость лёгочного кровотока от гидростатического давления. Так, в вертикальном положении верхушки лёгкого расположены выше основания лёгочной артерии, что практически уравнивает АД в верхних долях лёгких с гидростатическим давлением.

6. Особенности кровообращения лёгких

По этой причине капилляры верхних долей слабо перфузируются, тогда как в нижних долях благодаря суммированию АД с гидростатическим давлением кровоснабжение обильное.

Описанная особенность лёгочного кровообращения играет важную роль в установлении перфузионно-вентиляционных отношений в дыхательной системе.

6. Особенности кровообращения лёгких

Интенсивность кровоснабжения лёгких зависит от циклических изменений плеврального и альвеолярного давлений в различные фазы дыхательного цикла. Во время вдоха, когда плевральное и альвеолярное давление уменьшаются, происходит пассивное расширение крупных внелёгочных и внутрилегочных сосудов, сопротивление сосудистого русла дополнительно снижается и **кровоснабжение лёгких в фазу вдоха увеличивается**.

6. Особенности кровообращения лёгких

Регуляция лёгочного кровообращения. **Местная регуляция лёгочного кровотока** в основном представлена метаболическими факторами, ведущая роль среди которых принадлежит PO_2 и PCO_2. При снижении PO_2 и/или повышении PCO_2 происходит местная вазоконстрикция лёгочных сосудов.

Следовательно, особенностью местной регуляции кровоснабжения лёгких является строгое соответствие интенсивности локального кровотока уровню вентиляции данного участка лёгочной ткани.

6. Особенности кровообращения лёгких

Нервная регуляция лёгочного кровообращения осуществляется в основном симпатическими сосудосуживающими волокнами. Природа сосудорасширяющих нервных влияний пока не выяснена. Система лёгочного кровообращения выделяется среди всех регионов наибольшей функциональной связью с центральной регуляцией системной гемодинамики в большом круге кровообращения.

6. Особенности кровообращения лёгких

Известно, что рефлексы саморегуляции кровообращения с баро- и хеморецепторов сонного (каротидного) синуса сопровождаются активными изменениями лёгочного кровотока. В свою очередь сосуды малого круга кровообращения являются мощной рефлексогенной зоной, порождающей рефлекторные изменения в сердечно-сосудистой системе.

6. Особенности кровообращения лёгких

Гуморальная регуляция лёгочного кровообращения в значительной степени обусловлена влиянием таких биологически активных веществ, как ангиотензин, серотонин, гистамин, простагландины, которые вызывают в основном вазоконстрикцию в лёгких и повышение кровяного давления в лёгочных артериях. Активность других, широко распространённых в организме гуморальных факторов (адреналин, норадреналин, ацетилхолин) в системе регуляции лёгочного кровотока выражена в меньшей степени.

Спасибо за внимание!