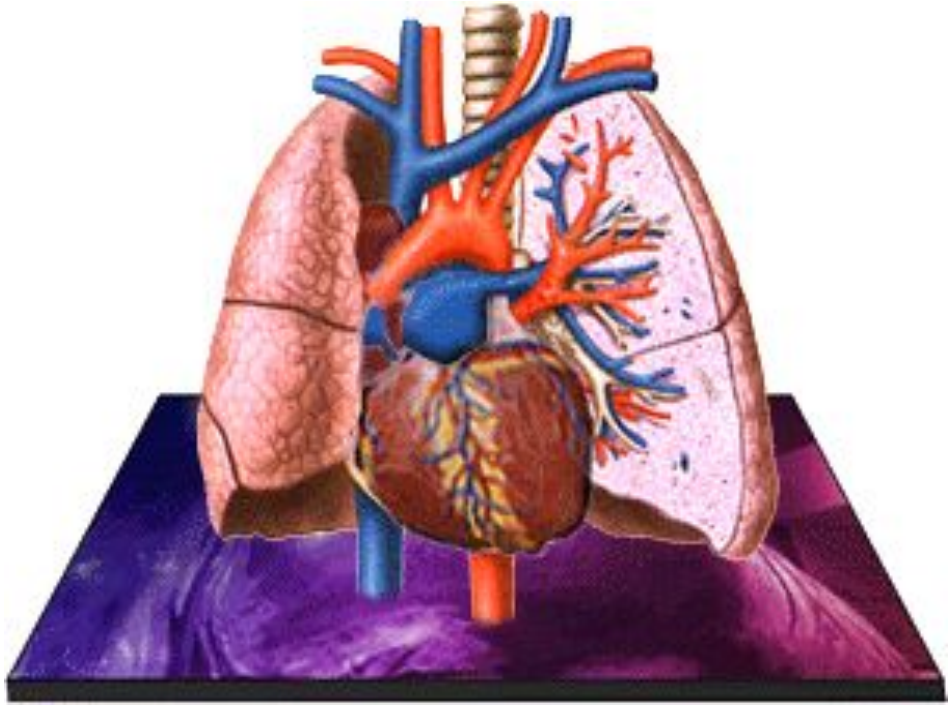
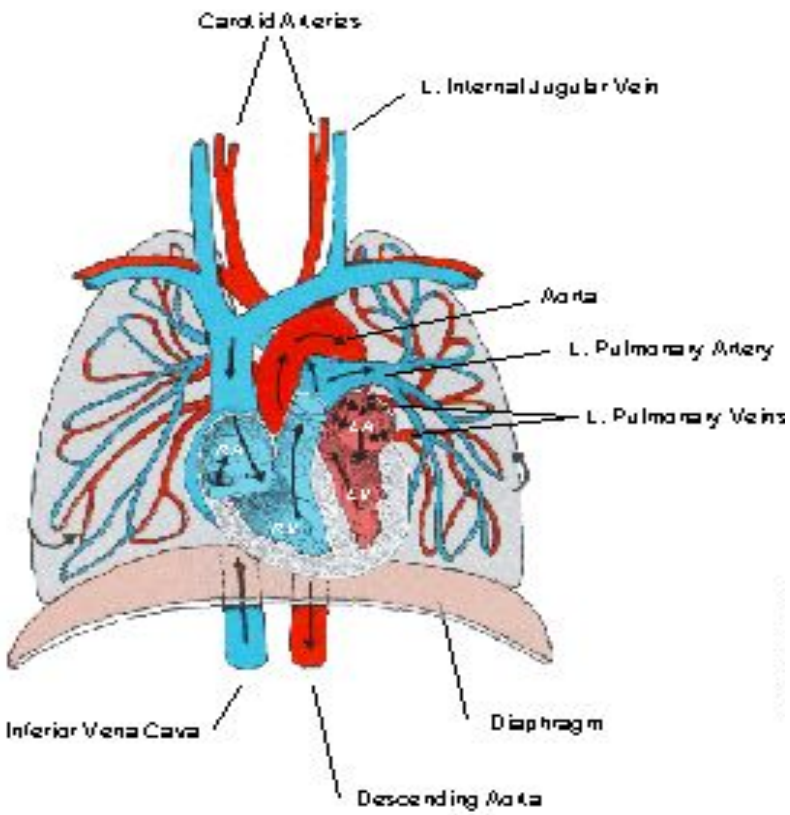
легочное кровообращение

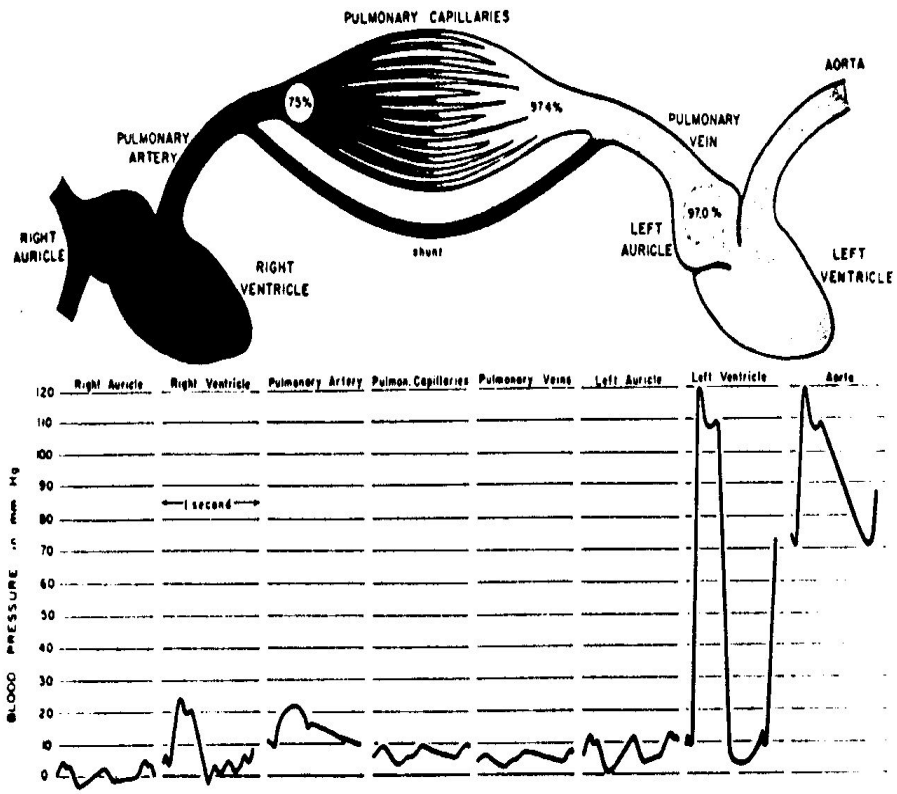


Анатомия малого круга



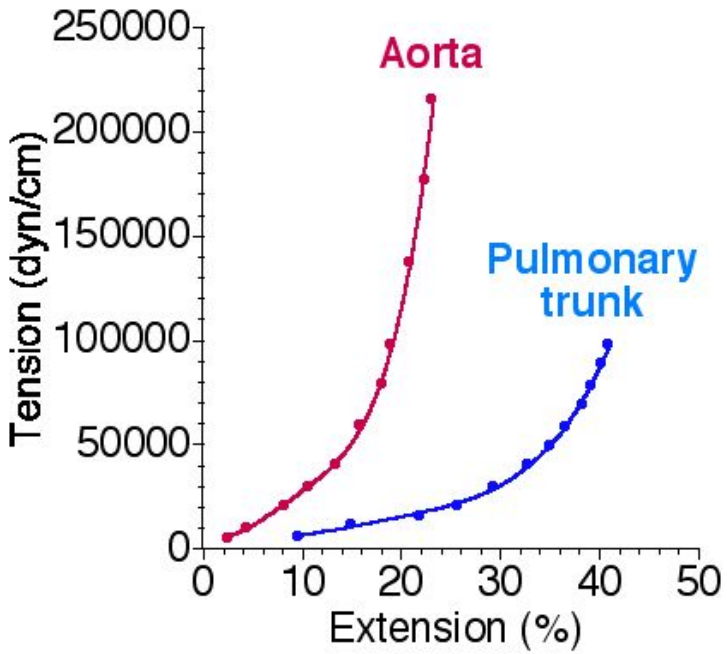
- Малый круг включен в систему кровообращения последовательно с большим кругом
- Сосуды малого круга:
  - Легочный ствол (выходит из правого желудочка) ☐ легочные артерии (правая и левая) ☐ долевые ветви ☐ сегментарные ветви
  - Легочные вены – правые и левые (впадают в левое предсердие)
- Артериовенозные анастомозы
- 2-й источник кровоснабжения легких – бронхиальная система

Давление в системе легочного кровообращения



- Правое предсердие=0 mmHg
- Правый желудочек: систолич.=25 mmHg, диастолич.=0 mmHg
- Легочная артерия: среднее=15 mmHg, систолич.=25 mmHg, диастолич.=8 mmHg
- Капиллярное гидростатическое давление ~8–10 mmHg
- Левое предсердие ~5 mmHg
- ☐ *давление в малом круге намного ниже, чем в большом*

Причины низкого давления



- Легочные сосуды короче и имеют более тонкую стенку с меньшим мышечным слоем
- Большая растяжимость легочных артерий (см. рис.)
- Малая величина сосудистого сопротивления (30% сопротивления – артерии, 50% - артериолы и венулы, 20% - вены)

Следствия низкого давления

- Абсолютные величины давлений в легочной артерии намного ниже, чем в аорте □ при малой работе правого желудочка обеспечивается продвижение всей крови по малому кругу
- Пульсовое давление ($P_{сист.}$-$P_{диаст.}$) относительно больше, чем в аорте □ в период систолы из-за малого сопротивления большая часть систолич. объема крови переходит в легочные вены

Легочный кровоток

- Состав:
  - Вся кровь, выбрасываемая правым желудочком
  - Венозная кровь из бронхиальных сосудов, поступающая в легочные вены (2% общего выброса левого желудочка)
- Эластичность артерий □ сглаживание пульсирующего кровотока.
- Затухающий пульсирующий кровоток в капиллярах, венах, до левого предсердия
- Скорость: лег. артерия=18 см/с, капилляры=0,3 мм/с, вены - повышается

Трансмуральное давление

- это разность между внутренним и внешним давлением на стенки сосудов

Внешнее давление: альвеолярное и плевральное

При дыхании изм. на 2 – 3 mmHg

Вдох: ↑ $P_{тр}$ → ↑ Приток крови в вены, расп. в грудной клетке

Выдох: ↓ $P_{тр}$ → ↓ Приток крови в вены, расп. в грудной клетке

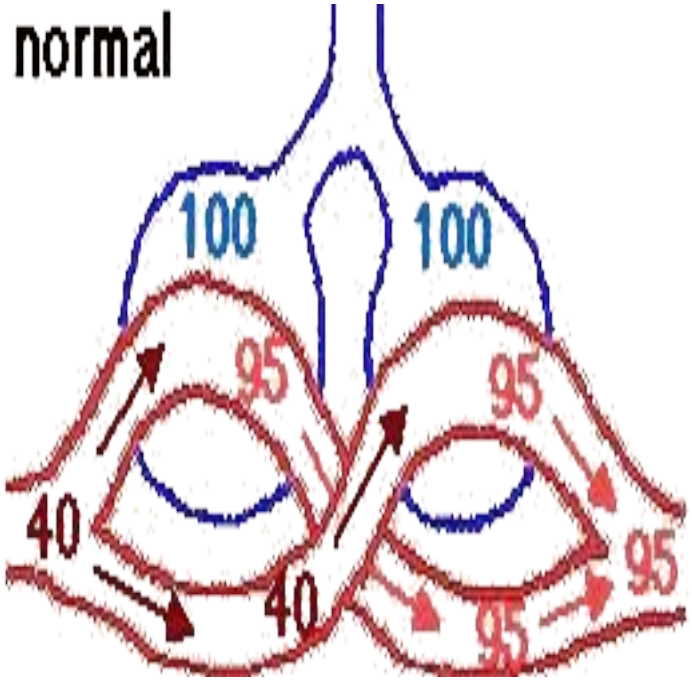
Внутрисосудистое давление

↑ $P_{арт} - P_{вен}$

↑ $P_{тр}$

→ Увеличение объемного кровотока

Диффузия газов



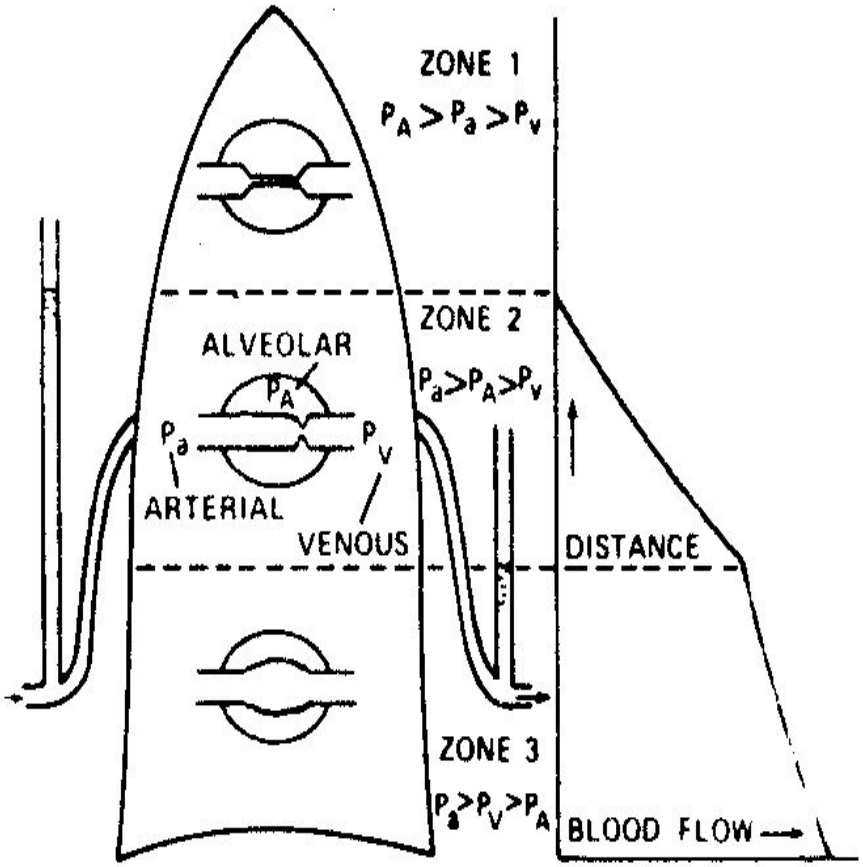
- Кровь легочных капилляров насыщается O_2 и выводит в альвеолы избыток CO_2 ☐ ЛК – неотъемлемое звено легочного дыхания
- Суммарная площадь альвеоло-капиллярного барьера=50 – 60 $м^2$, толщина слоя=0,5 мкм, объем крови=150 мл ☐ благоприятные условия для диффузии
- Время оксигенации=0,25 – 0,75 с
- ↑ объема ускоряет диффузию, переполнение – отек легкого

Вентиляционно-перфузионное отношение (V/Q)

$$\frac{\text{Альвеолярная вентиляция (=4-5 л/мин)}}{\text{капиллярный кровоток (=5-6 л/мин)}} = V/Q = 0{,}7\text{-}1{,}0$$

- При V/Q=0,9 – 1,1: P_aO_2=100 mmHg, P_aCO_2=40 mmHg
- Если V ↓, Q=const, то P_aCO_2 ↑, P_aO_2 ↓ □ газовый состав ~ венозный
- V/Q ↓ □ артериальная гипоксемия и гиперкапния

Распределение кровотока по легким



Неравномерно, зависит от положения грудной клетки в гравитационном поле Земли :

- В вертикальном положении – в легких выделяются 3 зоны (по соотношению давлений)
- В горизонтальном положении легкие оксигенируются равномерно

3 зоны в легких

- Среднее давление в легочной артерии на уровне сердца ($P_{ср}$)=16 mmHg
- *Зона 1*: $P_1=P_{ср}-P_{гидр}$=16–13=3 mmHg, V/Q увелич., $P_a>P_A>P_V$ □капилляры спадаются
- *Зона 2*: $P_2=P_{ср}$=16 mmHg, V/Q норм., $P_A>P_a>P_V$ □норма
- *Зона 3*: $P_3=P_{ср}+P_{гидр}$=16+5=21 mmHg, V/Q умер. пониж. (до 0,7-0,6), $P_A>P_V>P_a$ □капилляры расширены, кровоток увелич.

Физическая работа

- Увелич. минутного объема (МО) в 2-2,5 р. ☐ незначит. прирост давления, в 4 р. ☐$P_{сист}$=35 mmHg, $P_{диаст}$=15 mmHg
- Причины:
  - Открытие ранее не проводящих сосудов (были закрыты под действием атм. давления)
  - Рефлекторная и пассивная вазодилатация под влиянием возросшего трансмурального давления

Регуляция легочного кровообращения 1

- Нервная (симпатические волокна (α-адренорецепторы – сосудосуживающий эффект, β-адренорецепторы - сосудорасширяющий) (?)
- Барорецепторы (повыш. АД в лег. артериях ☐ сниж. АД в большом круге и наоборот)
- Хеморецепторы (реагируют на сниж. O_2, повыш. CO_2, сниж. pH ☐симпатич. сужение сосудов (+брадикардия) ☐ спонтанное дыхание ☐ воздействие на стретч-рецепторы ☐ глубокий вдох ☐ вазодилатация и тахикардия)

Регуляция легочного кровообращения 2

- Местная регуляция
  - Связанная с вентиляцией (реакция на парциальное давление)
  - Адреналин, норадреналин, гистамин □ сужение лег. сосудов, хотя эффекты маскируются изменениями в трансмуральном давлении, вызванными косвенным путем