ЧАСТНОЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ КОЛЛЕДЖ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ»

Тема 5.2 «Система органов дыхания»

Введение

Дыхательная система (systema respiratorium) обеспечивает газообмен между организмом и внешней средой, поддерживая оптимальный уровень парциальных давлений кислорода (pO_2) и углекислого газа (pCO_2) в артериальной крови — необходимое условие для аэробного метаболизма тканей. Физиологическая роль дыхания не исчерпывается вентиляцией и диффузией газов: система участвует в кислотно-щелочном гомеостазе (регуляция pCO_2 как компонента буферной системы H_2CO_3/HCO_3^-), терморегуляции, фильтрации и осаждении аэрозолей, а также в неспецифической защите (мукоцилиарный клиренс, иммунный барьер слизистой).

Цель лекции — сформировать системное понимание строения воздухоносных путей и респираторного отдела, механизмов вентиляции и газообмена, а также прикладную значимость этих знаний для клинической практики (оценка функции внешнего дыхания, интерпретация спирометрии, понимание патогенеза обструктивных и рестриктивных нарушений).

1. Значение дыхания для организма: метаболический и гомеостатический контекст

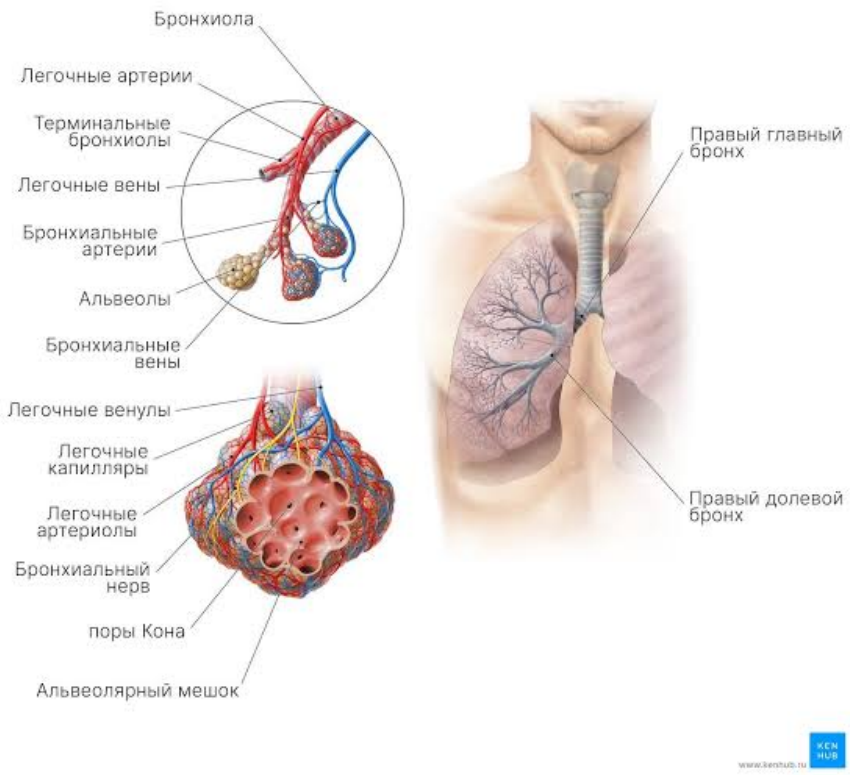
Дыхание обеспечивает три ключевые функции:

1. **Газообмен (внешнее дыхание)** — диффузия O_2 и CO_2 через аэрогематический барьер (barrierum aerogematicum) на уровне альвеол. Движущей силой служит градиент парциальных давлений: в альвеолярном воздухе $pO_2 \approx 100$ мм рт. ст., $pCO_2 \approx 40$ мм рт. ст.; в венозной крови малого круга $pO_2 \approx 40$ мм рт. ст., $pCO_2 \approx 46$ мм рт. ст. Это обеспечивает насыщение гемоглобина кислородом и удаление CO_2.
2. **Кислотно-щелочной гомеостаз** — регуляция pCO_2 через изменение минутной вентиляции. Согласно уравнению Гендерсона–Хассельбаха, $pH \approx 6{,}1 + \log([HCO_3^-]/(0{,}03 \times pCO_2))$, дыхательная система способна быстро (в течение минут) корректировать pH крови.
3. **Метаболическая и барьерная функции** — лёгкие участвуют в активации/инактивации биологически активных веществ (например, превращение ангиотензина I в ангиотензин II под действием АПФ в эндотелии лёгочных капилляров), а также в защите от ингаляционных патогенов и частиц (мукоцилиарный аппарат, альвеолярные макрофаги, секреторный IgA).

Терминологический аппарат:

- *Ventilatio pulmonum* — циклическое движение воздуха по воздухоносным путям.
- *Diffusio gasium* — пассивный транспорт газов по градиенту парциального давления.
- *Transportus gasium* — перенос O_2 (преимущественно в виде оксигемоглобина) и CO_2 (в виде HCO_3^-, карбаминогемоглобина и растворённого CO_2).

2. Строение воздухоносных путей: анатомия стенки и функциональная морфология



Воздухоносные пути (tractus respiratorii) включают: полость носа (cavitas nasi), носоглотку (pars nasalis pharyngis), гортань (larynx), трахею (trachea) и бронхиальное дерево (arbor bronchialis). Их основная функция — проведение, кондиционирование (согревание, увлажнение, очистка) и защита респираторного отдела.

Особенности строения стенки воздухоносных органов

Стенка воздухоносных путей имеет типичную четырёхслойную структуру:

1. **Tunica mucosa** (слизистая оболочка):
    - *Lamina epithelialis*: в большинстве отделов — псевдомногослойный мерцательный эпителий (epithelium pseudostratificatum ciliatum) с бокаловидными клетками (cellulae caliciformes), секретирующими слизь. В зонах повышенной механической нагрузки (например, надгортанник, голосовые складки) — многослойный плоский неороговевающий эпителий (epithelium stratificatum planum noncornificatum).
    - *Lamina propria mucosae*: рыхлая волокнистая соединительная ткань с венозными сплетениями (особенно выражены в носовых раковинах — *conchae nasales*), обеспечивающими терморегуляцию вдыхаемого воздуха.
2. **Tela submucosa** (подслизистая основа): содержит смешанные слизисто-серозные железы (glandulae mucosae et serosae), дополняющие защитную функцию эпителия.

3. **Tela fibromusculocartilaginea** (фиброзно-мышечно-хрящевая оболочка): хрящевые элементы (гиалиновый хрящ — *cartilago hyalina*) обеспечивают жёсткость и предотвращают спадение просвета; гладкомышечные пучки (musculi lissi) регулируют калибр бронхов.
4. **Tunica adventitia** (адвентиция): наружная соединительнотканная оболочка, фиксирующая орган к соседним структурам.

Доказательность: классическая физиология подтверждает, что мукоцилиарный клиренс (транспорт слизи ресничками со скоростью ~5–10 мм/мин) является основным механизмом самоочищения дыхательных путей. Нарушение этого механизма (например, при синдроме Картагенера) приводит к хроническим инфекциям и бронхоэктазам.

3. Придаточные пазухи носа: анатомия и значение

Придаточные пазухи носа (sinus paranasales) — воздухоносные полости в костях черепа, выстланные слизистой оболочкой и сообщающиеся с полостью носа:

- *Sinus maxillaris* (верхнечелюстная пазуха) — самая крупная, дренируется в средний носовой ход.
- *Sinus frontalis* (лобная пазуха) — расположена в лобной кости.
- *Cellulae ethmoidales* (ячейки решётчатого лабиринта) — передние, средние и задние, открываются в средний и верхний носовые ходы.
- *Sinus sphenoidalis* (клиновидная пазуха) — дренируется в сфеноэтмоидальный карман.

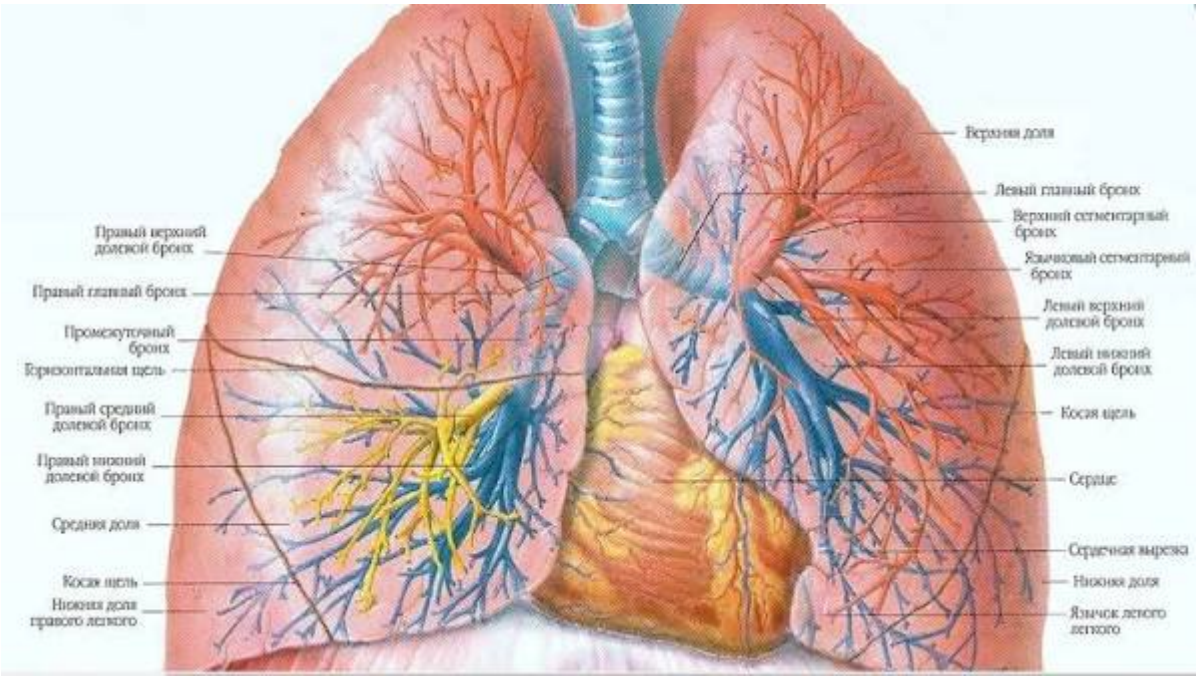
Функциональное значение:

- Уменьшение массы черепа за счёт пневматизации костей.
- Резонаторная функция для голоса.
- Дополнительная кондиционирующая и защитная роль (увеличение площади слизистой для согревания и увлажнения воздуха).
- Амортизационная функция при травмах.

Термин: *Ostium maxillare* — верхнечелюстное отверстие, критическое для дренажа верхнечелюстной пазухи; его обструкция часто приводит к острому синуситу.

4. Лёгкие: местоположение, строение, сегментарная организация

Лёгкие (pulmones dexter et sinister) расположены в грудной полости, по обе стороны от средостения (mediastinum), покрыты висцеральной плеврой (pleura visceralis). Правое лёгкое состоит из трёх долей (lobus superior, medius, inferior), левое — из двух (lobus superior et inferior), что обусловлено наличием сердечной вырезки (incisura cardiaca).



Сегментарное строение

Бронхолёгочный сегмент (segmentum bronchopulmonale) — анатомо-функциональная единица лёгкого, вентилируемая сегментарным бронхом (bronchus segmentalis) и снабжаемая одноимённой ветвью лёгочной артерии. Всего в лёгких 18–20 сегментов (10 справа, 8–10 слева). Такая организация важна для хирургии (сегментэктомия) и лучевой диагностики.

Микроскопическая структура

- **Бронхиальное дерево:** от главных бронхов (bronchi principales) до терминальных бронхиол (bronchioli terminales) — проводящая зона.
- **Респираторная зона:** начинается с респираторных бронхиол (bronchioli respiratorii), включает альвеолярные ходы (ductuli alveolares) и альвеолярные мешочки (sacculi alveolares), заканчивающиеся альвеолами (alveoli pulmonales).
- **Альвеолы:** выстланы альвеолоцитами I типа (тонкие плоские клетки для газообмена) и альвеолоцитами II типа (секретируют сурфактант — смесь фосфолипидов и белков, снижающих поверхностное натяжение и предотвращающих спадение альвеол).

Аэрогематический барьер включает:

- цитоплазму альвеолоцита I типа,
- общую базальную мембрану,
- цитоплазму эндотелиоцита капилляра.

Его толщина составляет ~0,2–0,5 мкм, что обеспечивает эффективную диффузию газов.

5. Лёгочное дыхание: вентиляция и механика дыхательных движений

Лёгочное (внешнее) дыхание — это циклический процесс вентиляции, обеспечивающий обновление альвеолярного воздуха и поддержание стабильных pO_2 и pCO_2.

Механизм вдоха (inspiratio)

Вдох — активный процесс, инициируемый сокращением диафрагмы (musculus diaphragma) и наружных межрёберных мышц (musculi intercostales externi). Это приводит к:

- Увеличению вертикального, переднезаднего и поперечного размеров грудной клетки.
- Снижению внутриплеврального давления (в норме на выдохе ≈ −5 см H_2O, на пике вдоха ≈ −8 см H_2O).
- Растяжению лёгких и снижению внутриальвеолярного давления ниже атмосферного, что вызывает приток воздуха.

Физиологический закон: согласно закону Бойля–Мариотта, при постоянной температуре давление газа обратно пропорционально его объёму ($P_1V_1 = P_2V_2$). Увеличение объёма грудной полости снижает давление в лёгких, создавая градиент для притока воздуха.

Механизм выдоха (exspiratio)

Спокойный выдох — пассивный процесс, обусловленный эластической тягой лёгких и расслаблением дыхательных мышц. При форсированном выдохе подключаются внутренние межрёберные мышцы (musculi intercostales interni) и мышцы брюшного пресса, активно уменьшая объём грудной полости.

Ключевые объёмы и ёмкости (по данным классической физиологии):

- Дыхательный объём (ДО, TV) ≈ 500 мл.
- Резервный объём вдоха (РОвд, IRV) ≈ 3000 мл.
- Резервный объём выдоха (РОвыд, ERV) ≈ 1100 мл.
- Остаточный объём (ОО, RV) ≈ 1200 мл.
- Жизненная ёмкость лёгких (ЖЁЛ, VC) = ДО + РОвд + РОвыд ≈ 4600 мл.

Эти показатели измеряются методом спирометрии и используются для дифференциальной диагностики обструктивных (снижение ОФВ1/ФЖЕЛ) и рестриктивных (снижение ЖЁЛ) нарушений.

Заключение: фундаментальные выводы и прикладное значение

1. Дыхательная система — не просто «трубопровод» для воздуха, а сложный мультифункциональный орган, интегрированный в метаболические, защитные и регуляторные процессы организма.
2. Строение стенки воздухоносных путей отражает их функцию: жёсткий каркас (хрящи) предотвращает коллапс, мерцательный эпителий и железы обеспечивают очистку и увлажнение, гладкомышечные элементы — регуляцию просвета.
3. Сегментарная организация лёгких и наличие аэрогематического барьера оптимизируют газообмен и позволяют проводить целенаправленные хирургические вмешательства.
4. Механика дыхания основана на физических законах (Бойля–Мариотта) и нейромышечном контроле; количественные показатели вентиляции (ДО, ЖЁЛ и др.) — ключевые маркеры функции внешнего дыхания.
5. Для профессиональной деятельности (медицинская практика, сестринское дело, физиотерапия) понимание анатомии и физиологии дыхания необходимо для интерпретации функциональных тестов, оценки дыхательной недостаточности, оказания неотложной помощи при обструкции дыхательных путей и ИВЛ.