

Лекція №9
для студентів 2 курсу 2 медичного факультету
Спеціальність «Лабораторна діагностика»

Фізіологія дихання

Лектор: Жернова
Наталія Петрівна

Запорозжя, 2016

Фізіологія дихання вивчає процеси, що забезпечують постачання тканин організму киснем і виведення вуглекислого газу.

Дихання - сукупність процесів, за допомогою яких здійснюється регенерація газового складу внутрішнього середовища організму.

В результаті органи і тканини забезпечуються киснем, а віддають вуглекислий газ. Дихання використовується в окислювальних процесах, в ході яких утворюється енергія, що витрачається на ріст, розвиток і життєдіяльність.

ЕТАПИ ДИХАННЯ

- ◆ Зовнішнє дихання
- ◆ Газообмін в капілярах малого кола кровообігу
- ◆ Транспорт газів кров'ю
- ◆ Газообмін в капілярах великого кола кровообігу
- ◆ Тканинне дихання

ЕТАПИ ДИХАННЯ

1. Зовнішнє дихання — це газообмін між організмом і оточуючим його атмосферним повітрям.

Здійснюється в два етапи — обмін газів між атмосферним і альвеолярним повітрям і газообмін між кров'ю легеневих капілярів і альвеолярним повітрям.

2. Транспорт газів здійснюється кров'ю. Він забезпечується різницею парціального тиску (напруження) газів по шляху їх прямування: кисню від легень до тканин, а вуглекислого газу від клітин до легень.

3. Внутрішнє, або тканинне дихання також може бути розділене на два етапи.

Перший етап - обмін газів між кров'ю і тканинами.

Другий — споживання кисню клітинами і виділення ними вуглекислого газу (клітинне дихання).

Апарат зовнішнього дихання включає в себе дихальні шляхи, легені, плевру, скелет грудної клітки та її м'язи, а також діафрагму.

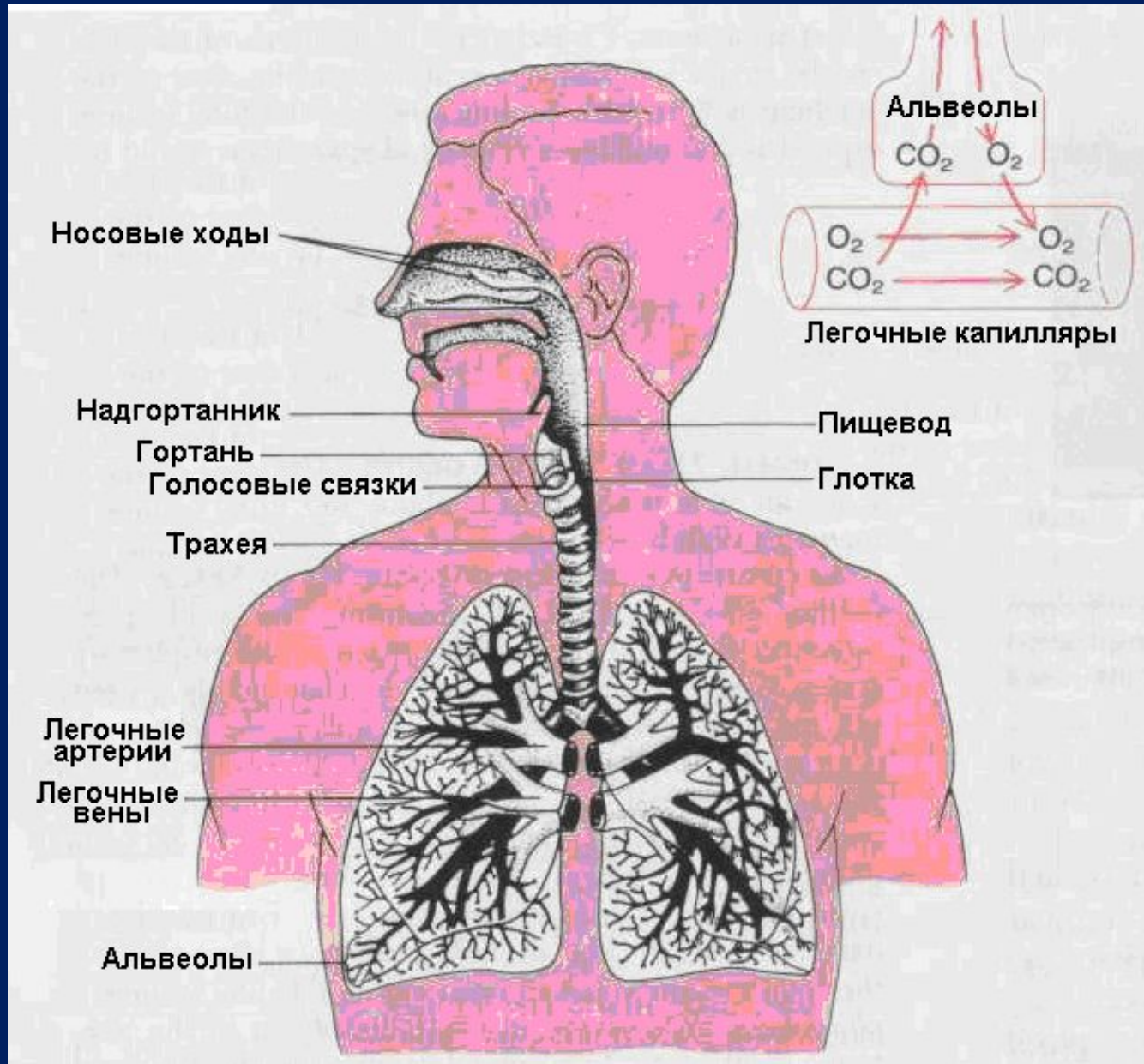
Основною функцією апарату зовнішнього дихання є забезпечення організму киснем і звільнення його від надлишку вуглекислого газу.

Про функціональний стан апарату зовнішнього дихання можна судити по ритму, глибині, частоті дихання, за величиною легневих об'ємів, за показниками поглинання кисню і виділення вуглекислого газу і т. д.

% СКЛАД ПОВІТРЯ, ЩО ВДИХАЄТЬСЯ, ВИДИХАЄТЬСЯ І АЛЬВЕОЛЯРНОГО

Воздух	O ₂	CO ₂	N ₂ и инертные газы
Вдыхаемый	20,83	0,03	79,04
Выдыхаемый	16,0	4,5	79,5
Альвеолярный	14,0	5,5	80,5

Повітряносні шляхи



Функції повітроносних шляхів

- **1. Зігрівання.** Повітря, що проходить по дихальних шляхах зігрівається, завдяки тісному контакту з широкою мережею кровоносних капілярів підслизового шару.
- **2. Зволоження.** Незалежно від вологості атмосфери в легенях повітря насичене до 100% парами води.
- **3.** Повітря, проходячи по дихальних шляхах, під час видиху встигає частково повернути слизовим, як тепло, так і воду. Таким шляхом в повітроносних шляхах відбувається **регенерація повітря**. Але все ж частина тепла і води може виділятися. Вираженість цих процесів багато в чому залежить від стану навколишнього середовища і глибини дихання.
- **4. Очищення** (захисна функція).

Схема дихальних шляхів

Зона	Структура	Генерації бронхів
Кондуктивна (провідна)	Трахея, бронхи, бронхіоли, термінальні бронхи	1-16
Транзиторна (перехідна)	Респіраторні бронхи	17-19
Респіраторна (дихальна)	Альвеолярні ходи, мішечки, альвеоли	20-23

Механізм вдиху і видиху

У дорослої людини частота дихання становить приблизно 16-18 дихальних рухів в хвилину. Вона залежить від інтенсивності обмінних процесів і газового складу крові.

Дихальний цикл складається з трьох фаз:

- 1) фази вдиху (триває приблизно 0,9–4,7 с);
- 2) фази видиху (триває 1,2–6,0);
- 3) дихальної паузи (непостійний компонент).

При спокійному стані дихання складається з активного вдиху і пасивного видиху.

Активний вдих починається під впливом імпульсів, що надходять з дихального центру до інспіраторних м'язів, викликаючи їх скорочення. В результаті різниці тисків повітря надходить у легені.

Пасивний видих відбувається після припинення імпульсів до м'язів, вони розслабляються, і розміри грудної клітини зменшуються. При збільшенні частоти дихання усі фази коротшають.

Інспіраторні м'язи

Головні: зовнішні міжреберні м'язи, діафрагма.

Допоміжні : грудинно-ключично-соскоподібні, драбинчасті, велика грудна і мала грудна, передня зубчаста

Експіраторні м'язи:

Головні: внутрішні міжреберні, розслаблення основних інспіраторних м'язів

Допоміжні: м'язи передньої черевної стінки: пряма, внутрішня і зовнішня косі, поперечна

Але, наприклад, під час нападу бронхіальної астми, підключаються м'язи спини і плечового пояса (ромбовидна, трапецієвидна, що піднімає лопатку).

Типи дихання

- 1) **грудний**. Здійснюється за участю міжреберних м'язів і м'язів 1-3-го дихального проміжку, при вдиху забезпечується хороша вентиляція верхнього відділу легень, **характерний для жінок і дітей до 10 років**;
- 2) **черевний**. Вдих відбувається за рахунок скорочень діафрагми, що призводять до збільшення у вертикальному розмірі і відповідно кращої вентиляції нижнього відділу, **властивий чоловікам**;
- 3) **змішаний**. Спостерігається при рівномірній роботі всіх дихальних м'язів, що супроводжується пропорційним збільшенням грудної клітки в трьох напрямках, **зазначається у тренуваних людей**.

Показники зовнішнього дихання діляться на статичні і динамічні

До статичних належать.

1 Дихальний об'єм (ДО) - це об'єм повітря, який доросла людина в стані спокою вдихає і видихає (приблизно 500 мл, коливання від 300 до 800 мл).

2 Резервний об'єм вдику (РОВД) - це додатковий об'єм повітря, який людина може вдихнути при глибокому вдику після спокійного видиху (3000 мл).

3 Резервний об'єм видиху (РОВИД) - максимальний додатковий видих повітря після спокійного видиху (1300 мл).

4 Залишковий об'єм (ЗО) - об'єм повітря, який залишається в легенях після максимального видиху (1200 мл).

5 Мертвий простір (МП) - об'єм повітря, яке знаходиться в повітроносних шляхах, не бере участі у газообміні (150 мл).

динамічні показники характеризують дихання за конкретний час.

1 Частота дихальних рухів (ЧДД), яка складає в середньому 16 разів на хвилину.

2 Хвилиний об'єм дихання (ХОД) - кількість повітря, що надходить у легені за 1 хв: $ХОД = ДО (500 \text{ мл}) \cdot ЧД (16 \text{ в } 1 \text{ хв})$, становить 8000 мл

3 Альвеолярна вентиляція (АВ), що характеризує вентиляцію альвеол: $АВ = (500 \text{ мл}) - МП (150 \text{ мл}) \cdot ЧД (16 \text{ в } 1 \text{ хв})$ - і становить 5600 мл

4 Максимальна вентиляція легенів (МВЛ) - кількість повітря, яке людина вдихає і видихає при максимальній глибині і частоті дихання.

5 Резерв дихання (РД) відображає різницю між МВЛ і ХОД.

6 Коефіцієнт легеневої вентиляції (КЛВ) - та частина повітря, яка обмінюється в легенях при кожному вдиху: $КЛВ = \frac{ДО (500 \text{ мл}) - МП (150 \text{ мл})}{ФЗЕ (2500 \text{ мл})}$ і становить 0,14.

7 Коефіцієнт альвеолярної вентиляції (КАВ) - це відношення альвеолярної вентиляції до легеневого кровотоку (ЛК): $КАВ = \frac{АВ (4 \text{ л})}{ЛК (5 \text{ л})}$, що складає 0,8.

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗОВНІШНЬОГО ДИХАННЯ У ЛЮДИНИ

- 1. Спірометрія** – метод визначення життєвої ємності легень (ЖЄЛ) і складових її об'ємів повітря.
- 2. Спірографія** – метод графічної реєстрації показників функції зовнішньої ланки системи дихання.
- 3. Пневмотахометрія** – метод вимірювання максимальної швидкості вдиху і видиху при форсованому диханні.

4. **Пневмографія** – метод реєстрації дихальних рухів грудної клітки.

5. **Пікфлуорометрія** – простий спосіб самооцінки і постійного контролю прохідності бронхів. Прилад – пікфлоуметр дозволяє вимірювати об'єм повітря, що проходить при видиху в одиницю часу (пікова швидкість видиху).

6. **Функціональні проби** (Штанге та Генча).

Дихальний мертвий простір — об'єм дихальних шляхів, у якому не відбуваються процеси газообміну між повітрям і кров'ю.

Анатомічний дихальний мертвий простір являє собою об'єм повітроносних шляхів, починаючи від отворів носа і рота і закінчуючи дихальними бронхіолами легень (150 мл).

Під **фізіологічним мертвим простором** розуміють всі ті ділянки дихальної системи, в яких не відбувається газообміну. До функціонального мертвого простору на відміну від анатомічного відносяться не тільки повітроносні шляхи, але також альвеоли, які вентилюються, але не перфузуються кров'ю. У таких альвеолах газообмін неможливий, хоча їх вентиляція і відбувається.

- Поверхня альвеол покрита тонким шаром води.
- Молекули поверхневого шару води з великою силою притягуються одна до одної.
- Сила поверхневого натягу тонкого шару води на поверхні альвеол завжди спрямована на стиск і спадіння альвеол.
- Отже, поверхневий натяг рідини в альвеолах є ще одним дуже важливим фактором, що впливає на розтяжність легенів.
- Сила поверхневого натягу альвеол дуже значна і може викликати їх повне спадіння, що виключило б всяку можливість вентиляції легенів.

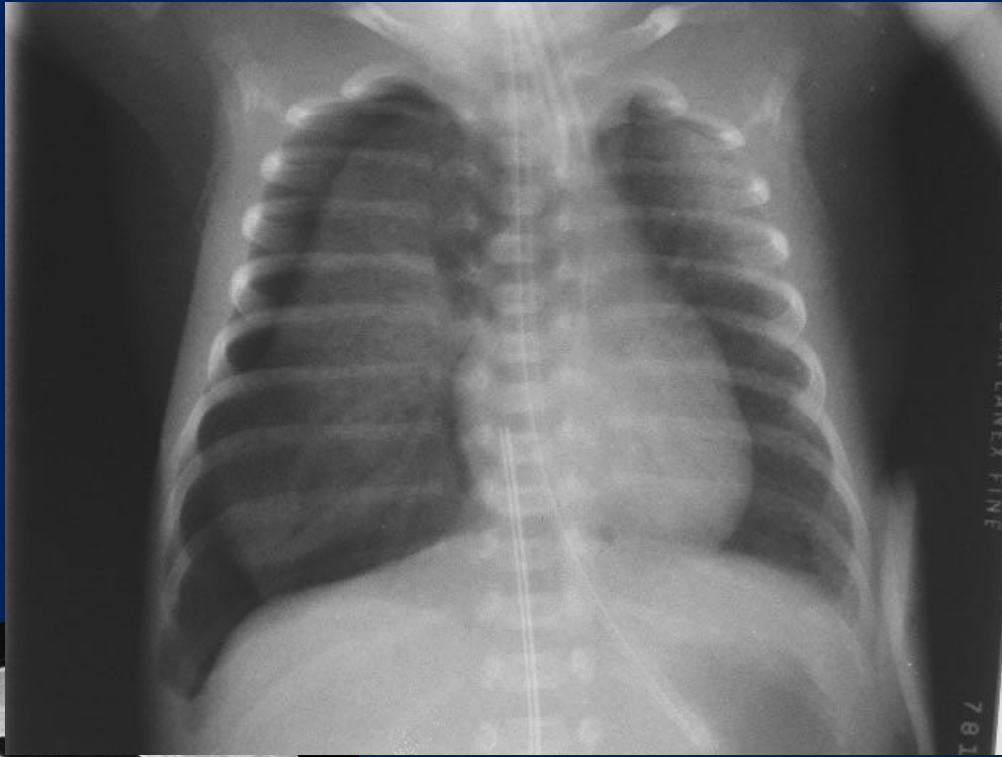
Спадінню альвеол перешкоджає **сурфактант**, який **продукують** в поверхневий шар рідини **пневмоцити II типу**. Синтез і заміна сурфактанту відбувається досить швидко, тому порушення кровотоку в легенях може знизити його запаси і збільшити поверхневий натяг рідини в альвеолах, що веде до їх ателектазу, або спадінню. Недостатня функція сурфактанту призводить до розладів дихання, нерідко викликає смерть.

Функції сурфактантів:

- зниження поверхневого натягу альвеол;
- збільшення розтяжності легень;
- забезпечення стабільності легневих альвеол, перешкода їх спадінню і поява ателектазу;
- перешкода транссудації (виходу) рідини на поверхню альвеол з плазми капілярів легень

Пневмоторакс — це патологічний стан, що характеризується наявністю повітря в плевральній порожнині.

У нормі в плевральній порожнині є негативний тиск, що сприяє забезпеченню адекватного механізму дихання. При пошкодженні листків плеври і проникненні повітря в порожнину плеври тиск вирівнюється з атмосферним, або навіть стає вище нього. Повітря, що потрапило в плевральну порожнину, здавлює легеню, веде до її спадінню і виключення з акту дихання. При великому об'ємі повітря здавленню піддається і неушкоджена легеня, а також зміщуються органи середостіння (серце, великі судини), що обумовлює значні порушення механізму дихання і кровообігу.



Закритий пневмоторакс розвивається в тих випадках, коли повітря потрапляє в плевральну порожнину через дефект плеври, але дефект невеликий і швидко закривається. Клінічно має легкий перебіг: невелика кількість повітря може розсмоктуватися самотійно.

Відкритий пневмоторакс – таке стиснення повітря в плевральній порожнині, яка через рану грудної стінки або через пошкоджений великий бронх сполучається з навколишнім середовищем. При вдиху повітря надходить у плевральну порожнину, а при видиху виходить назад. Тиск у плевральній порожнині стає рівним атмосферному, що призводить до спадінню легені та виключення її з дихання.

Клапанний (напружений) пневмоторакс — найважчий варіант. Якщо рана велика і пошкоджений бронх середньої величини, формується клапанна структура, що пропускає повітря в плевральну порожнину у момент вдиху і перешкоджає його виходу в навколишнє середовище на видиху, при цьому об'єм повітря в порожнині плеври поступово наростає. Це веде до зміщення і здавлення органів середостіння (серце, великі судини) зі значними розладами дихання та кровообігу.

За причинами виникнення виділяють наступні види пневмотораксу.

Спонтанний (мимовільний) пневмоторакс – розрив бронха або ділянки легені, не пов'язаний з механічним пошкодженням легенів або грудної клітки.

Первинний (ідіопатичний) – виникає без видимих причин. Частіше зустрічається у молодих чоловіків високого зросту у віці 20-40 років. Як правило, в його основі лежать: генетично обумовлена недостатність ферменту альфа-1-антитрипсину, що веде до патологічних змін в легенях; вроджена слабкість плеври, яка легко розривається при сильному кашлі, сміху, глибокому диханні, інтенсивному фізичному зусиллі; можливий розвиток спонтанного пневмотораксу при глибокому зануренні у воду, пірнання, польоті на літаку на великій висоті (пов'язано з перепадами тиску).

Вторинний (симптоматичний) – на тлі наявної легеневої патології: захворювання дихальних шляхів, наприклад, ХОЗЛ, муковісцидоз, тяжке загострення бронхіальної астми; туберкульоз, абсцес, пневмонія, на фоні ВІЛ-інфекції, фіброзуючі альвеоцити, лімфангіолейкоміоматоз, саркоїдоз, системні захворювання сполучної тканини з ураженням легень (системна склеродермія, ревматоїдний артрит, дерматоміозит, пухлини (рак легені)).

Травматичний пневмоторакс – при травмах грудної клітки: проникаюче поранення грудної клітини, тупа травма грудної клітини.

Ятрогенний пневмоторакс, пов'язаний з медичними маніпуляціями: при біопсії; при пункції; при постановці підключичного катетера; під час штучної вентиляції легень.

Механізми газопереносу

- **Конвекція** (convectio - принесення струменеве переміщення мас газу, рідини).
Основою її є градієнт тиску. Для створення градієнта тиску потрібно затратити енергію.
- Інший шлях газопереносу - **дифузія.**
Рухильною силою дифузії є градієнт концентрації газу ($P = P_1 - P_2$): чим він вище, тим інтенсивніше газообмін

5 основних етапів газопереносу:

1. Конвекційне надходження повітря в повітроносні шляхи.
2. Конвекція повітря і дифузія газів між повітроносними шляхами і альвеолами.
3. Дифузія газів між альвеолами і кров'ю.
4. Конвекційний перенос газів кров'ю.
5. Дифузія газів між капілярною кров'ю і тканинами.

Дихальний центр — це сукупність нейронів, які забезпечують зміну процесів вдиху і видиху та адаптацію системи до потреб організму.

-Розташований в області стовбура мозку, складається з дорсального і вентрального ядра.

-Якщо збудження нейрона збігається з вдихом, то такий нейрон відносять до інспіраторних, якщо з видихом - до експіраторних.

-Нейрони цих ядер широко контактують з ретикулярною формацією стовбура, через яку до дихального центру надходять аферентні сигнали від периферичних рецепторів.

Дорсальне ядро входить до складу сірої речовини, що оточує одиночний пучок. Це ядро містить нейрони, що збуджуються при інспірації. В ньому можна виділити **два основних типи нейронів:**

- I альфа-нейрони (збуджуються тільки при вдиху);
- I бета-нейрони (збуджуються одночасно з I-альфа і при паузі останніх).

I альфа-нейрони є типовими інспіраторними нейронами. Одночасно з цим збудження I альфа-нейронів передається до I бета-нейронів. Однак ці нейрони не передають свої імпульси до мотонейронів діафрагми, їх збудження призводить до гальмування активності інспіраторних I альфа-нейронів.

Виділяють кілька рівнів регуляції:

- 1)спинальний;
- 2)бульбарний;
- 3)супрапонтіальний;
- 4)кірковий.

- Спинальний рівень представлений мотонейронами передніх рогів спинного мозку, аксони яких іннервують дихальні м'язи. Цей компонент не має самостійного значення, так як підпорядковується імпульсам з верхніх відділів.

- Нейрони ретикулярної формації довгастого мозку і моста утворюють бульбарний рівень

Нейрони довгастого мозку, що входять до складу дихального центру, володіють двома особливостями:

- 1) мають реципрокні відносини;
- 2) можуть спонтанно генерувати нервові імпульси.

Пневмотаксичний центр утворений нервовими клітинами мосту. Вони здатні регулювати активність нижчих нейронів і призводять до зміни процесів вдиху і видиху. При порушенні цілісності ЦНС в області стовбура мозку знижується частота дихання і збільшується тривалість фази вдиху.

Супрапонтіальний рівень представлений структурами мозочка і середнього мозку, які забезпечують регуляцію рухової активності та вегетативної функції.

Кірковий компонент складається з нейронів кори великих півкуль, що впливають на частоту і глибину дихання. В основному вони надають позитивний вплив, особливо на моторні і орбітальні зони. Крім того, участь кори великих півкуль говорить про можливість доволно змінювати частоту і глибину дихання.

Таким чином, в регуляції дихального процесу приймають різні структури кори великих півкуль, але провідну роль відіграє бульбарний відділ.

Гуморальна регуляція нейронів дихального центру

Збудливу дію на нейрони дихального центру надають:

- 1) зниження концентрації кисню (гіпоксемія);
- 2) підвищення вмісту вуглекислого газу (гіперкапнія);
- 3) підвищення рівня протонів водню (ацидоз).

Гальмівний вплив виникає в результаті:

- 1) підвищення концентрації кисню (гіпероксемії);
- 2) зниження вмісту вуглекислого газу (гіпокапнії);
- 3) зменшення рівня протонів водню (алкалозу).

П'ять шляхів впливу газового складу крові на активність дихального центру:

1. місцевий;

2. гуморальний;

3. через периферичні хеморецептори;

4. через центральні хеморецептори;

5. через хемочутливі нейрони кори великих півкуль.

Місцева дія виникає в результаті накопичення в крові продуктів обміну речовин, в основному протонів водню. Це призводить до активації роботи нейронів.

Гуморальний вплив з'являється при збільшенні роботи скелетних м'язів і внутрішніх органів. У результаті виділяються вуглекислий газ і протони водню, які з током крові надходять до нейронів дихального центру і підвищують їхню активність.

Периферичні хеморецептори – це нервові закінчення з рефлексогенних зон серцево-судинної системи (каротидного синусу, дуги аорти тощо). Вони реагують на недолік кисню. У відповідь починають посилати імпульси в ЦНС, що призводять до збільшення активності нервових клітин (рефлекс Бейнбріджа).

До складу ретикулярної формації входять центральні хеморецептори, які володіють підвищеною чутливістю до накопичення вуглекислого газу і протонів водню. Збудження поширюється на всі зони ретикулярної формації, в тому числі і на нейрони дихального центру.

Нервові клітини кори великих півкуль також реагують на зміну газового складу крові.

Таким чином, гуморальна ланка відіграє важливу роль в регуляції роботи нейронів дихального центру.

Нервова регуляція здійснюється в основному рефлексними шляхами.

Виділяють дві групи впливів — епізодичні і постійні.

До постійних відносяться три види:

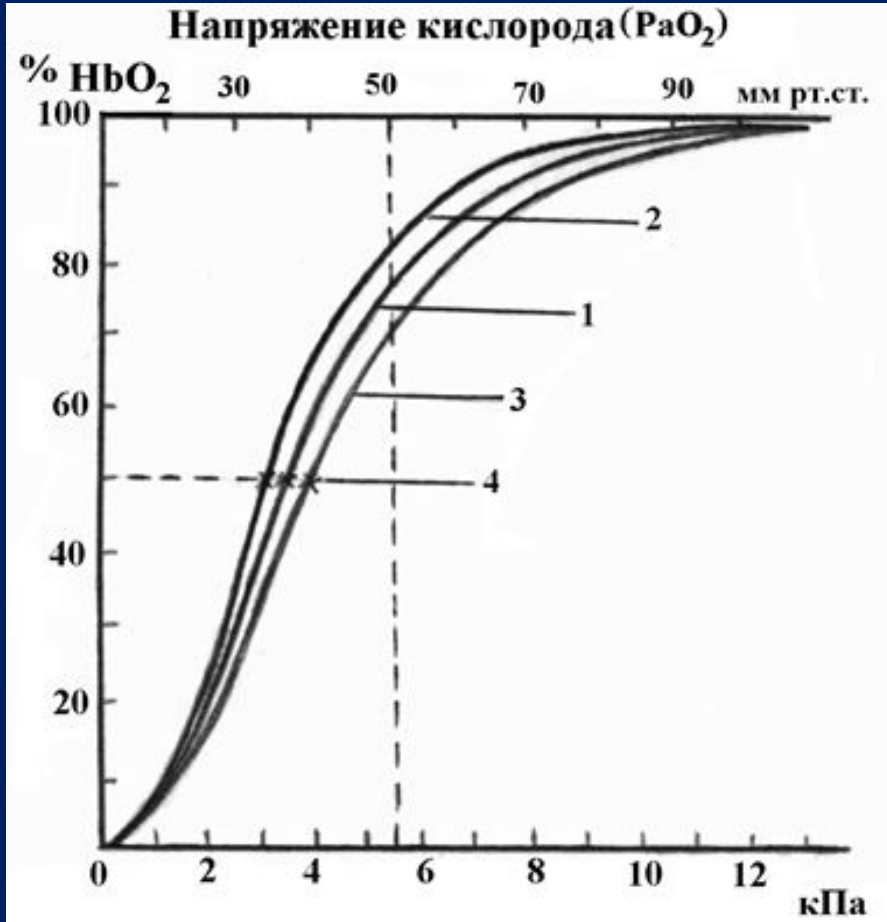
- 1) від периферичних хеморецепторів серцево-судинної системи ;
- 2) від пропріорецепторів дихальних м'язів;
- 3) від нервових закінчень розтягнення легеневої тканини.

До епізодичних рефлексорних впливів відносяться:

- 1) імпульси від іритарних рецепторів легень;
- 2) впливи з юкстаальвеолярних рецепторів;
- 3) впливи зі слизової оболонки дихальних шляхів;
- 4) впливи від рецепторів шкіри.

Криві дисоціації оксигемоглобіну:

- 1 - в умовах норми,
- 2 - при збільшенні рН або температури,
- 3 - при зниженні рН або температури,
- 4 - P50O₂.



Споживання кисню - кількість кисню, що поглинається організмом протягом одиниці часу (у спокої 200 - 400 мл/хв).

Гіперкапнія - підвищений вміст вуглекислого газу в організмі.

Гіперкапнемія - підвищений вміст вуглекислого газу в крові.

Гіпокапнія - знижений вміст вуглекислого газу в організмі.

Гіпокапнемія - знижений вміст вуглекислого газу в крові.

Ступінь насичення крові киснем –
відношення вмісту кисню в крові до
її кисневої ємності.

Гіпероксія - підвищений вміст
кисню в організмі.

Гіпоксія - знижений вміст кисню в
організмі.

Вентиляція легень - процес обміну повітря між зовнішнім середовищем та альвеолами легень.

Еластична тяга легень - сила, з якою тканина легені протидіє тиску плевральної порожнини і забезпечує спадіння альвеол (обумовлене наявністю в стінці альвеол великої кількості еластичних волокон та поверхневим натягом).

Сурфактант – суміш поверхнево-активних речовин, що знаходиться на межі повітря-рідина в легеневих альвеолах, тобто вистилає альвеоли зсередини. Перешкоджає спадінню (злипання) альвеол за рахунок зниження поверхневого натягу рідини. Синтезується альвеолоцитами 2-го типу.

Дихальний центр - сукупність нервових структур, розташованих у різних відділах ЦНС і забезпечують запуск і регулювання процесів вентиляції легенів.

Автоматизм дихального центру - здатність даної структури до генерації збудження при відсутності дії зовнішніх подразників.

Пневмотаксичний комплекс - частина дихального центру, розташована в області варолієва мосту і регулююча вдих і видих (під час вдиху викликає збудження центру видиху).

Експіраторний відділ - частина дихального центру, що регулює процес видиху (його нейрони розташовуються в вентральному ядрі довгастого мозку).

Інспіраторний відділ - частина дихального центру, що регулює процес вдиху (локалізується переважно в дорсальному відділі довгастого мозку).

Рефлекс Герінга - Брейєра - При розтягуванні альвеол під час вдиху нервові імпульси від рецепторів розтягнення по блукаючому нерву йдуть до експіраторних нейронів, які збуджуючись, гальмують активність інспіраторних нейронів, що призводить до пасивного видиху. Легеневі альвеоли спадаються, і нервові імпульси від рецепторів розтягнення вже не надходять до експіраторних нейронів. Активність падає, що створює умови для підвищення збудливості інспіраторної частини дихального центру і активного вдиху.

Гіперкапнічний стимул - рефлекторна реакція збільшення хвилинного об'єму дихання при зростанні вмісту вуглекислого газу в організмі.

Гіпоксичний стимул - рефлекторна реакція збільшення хвилинного об'єму дихання при зниженні вмісті кисню в організмі.

Індекс Тіффно - показник об'єму повітря, що видаляється з легень при форсованому видиху.

Іритантні рецептори - структури, що знаходяться в епітелії і субепітелії повітроносних шляхів, збуджені при значній зміні об'єму легені, дії хімічних речовин, пилових частинок.

J-рецептори - структурні елементи, що знаходяться поблизу капілярів малого кола кровообігу в інтерстиціальній тканині альвеол; при їх подразненні виникають характерне часте і поверхневе дихання (задишка), а також рефлекторна бронхоконстрикція.

Життєва ємність легень - найбільший об'єм повітря, який людина здатна видихнути при максимальному видиху після максимального вдиху.

Хвилинний об'єм дихання (хвилинна вентиляція) - об'єм повітря, який надходить при диханні в легені протягом хвилини.

Максимальна вентиляція легень — найбільша кількість повітря, яке може надійти в легені за 1 хв при посиленому диханні. В середньому її величина дорівнює 70-150 л.

Крива дисоціації оксигемоглобіну – графічна залежність утворення оксигемоглобіну від pO_2 у крові, має S-подібний характер. Фізіологічний сенс конфігурації полягає в тому, що оксигенація крові в легенях зберігається на високому рівні навіть при відносно низькому альвеолярному pO_2 , а її деоксигенація істотно змінюється навіть при невеликій зміні капілярно-тканинного градієнта pO_2 .