



Фізіологія системи

ДИХАННЯ

Проф. Весніна Л.Е.

Дихання –

сукупність процесів,
які забезпечують:

- надходження в організм O_2
- використання його в окисно-відновних процесах
- видалення CO_2 та інших кінцевих продуктів обміну речовин



Етапи дихання:

- **1. Зовнішнє дихання**, або вентиляція легенів - обмін газів між альвеолами легень і атмосферним повітрям
- **2. Обмін газів** у легенях між альвеолярним повітрям і кров'ю
- **3. Транспорт газів** кров'ю - процес перенесення O_2 від легенів до тканин, а CO_2 від тканин до легень
- **4. Обмін газів** між кров'ю капілярів великого кола кровообігу і клітинами тканин
- **5. Внутрішнє (тканинне) дихання** - біологічне окислення в мітохондріях

Функції дихальної системи

- **Обмін газів:** насичення киснем крові і виведення вуглекислого газу
- **Регуляція рН крові:** корекція рівня CO_2 крові карбонатною буферною системою
- **Формування голосу:** за рахунок руху повітря через голосові зв'язки
- **Нюх:** у порожнині носа відбувається контакт ворсинок нюхового нерва і молекул запаху
- **Терморегуляція:** зігрівання та охолодження тіла
- **Захист:** формування бар'єру на шляху мікроорганізмів

Зовнішнє дихання

- **Зовнішнє дихання**
(вентиляція легенів) - процес газообміну між атмосферним повітрям і кров'ю легеневих капілярів,
в результаті якого відбувається
- **артеріалізація крові**
(підвищення напруги O_2 і зниження CO_2 в крові),
- реалізується шляхом чергування **вдишу** (*inspiratio*) і **видишу** (*expiratio*)

Інтенсивність газообміну

визначається:

- легеневої вентиляцією
- перфузією
- дифузією газів в альвеоло-капілярній мембрані

Анатомо - фізіологічним субстратом дихання є:

- **грудна клітка та дихальні м'язи**
- **дихальні шляхи**
- **легенева тканина**



Дихальна система

Верхні



дихальні
шляхи

Носова
порожнина

Ротова
порожнина

Глотка



Органи
дихання

Легені



Нижні
дихальні
шляхи

Гортань

Трахея

Бронхи

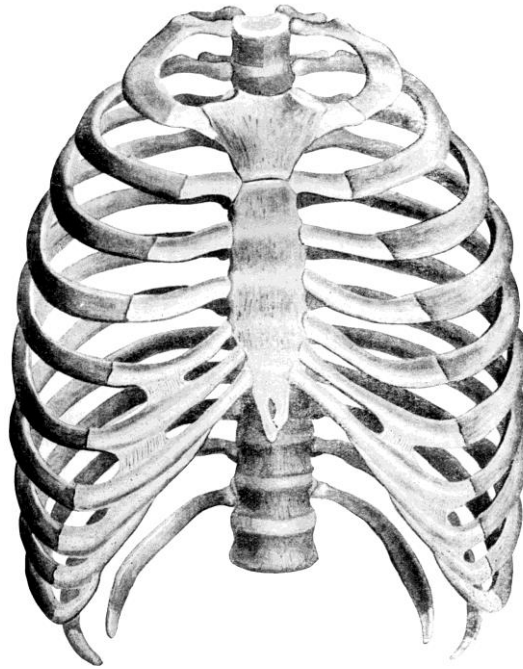
ГЛОТКА



Грудна клітка і дихальні м'язи

- **Грудна клітка** - пасивна кістково-хрящова основа, поєднана зв'язками
- в процесі вдиху розширюється за рахунок двох механізмів - **підняття ребер і сплющення діафрагми**

Ці механізми здійснюються за рахунок роботи дихальних м'язів, які діляться на **інспіраторні** і **експіраторні**



Інспіраторні м'язи:

- m. diafragmaticus
- m. intercostalis ext.
- m. interchondroicus int.

Експіраторні м'язи:

- m. intercostals internum

Основний інспіраторний м'яз - **діафрагма**
рух діафрагми забезпечує **70-80%** вентиляції легенів
у нормі діафрагма має форму купола, зверненого в бік грудної порожнини
під час спокійного вдиху купол діафрагми опускається вниз на **1,5-2 см**,
глибокого - до **10 см**

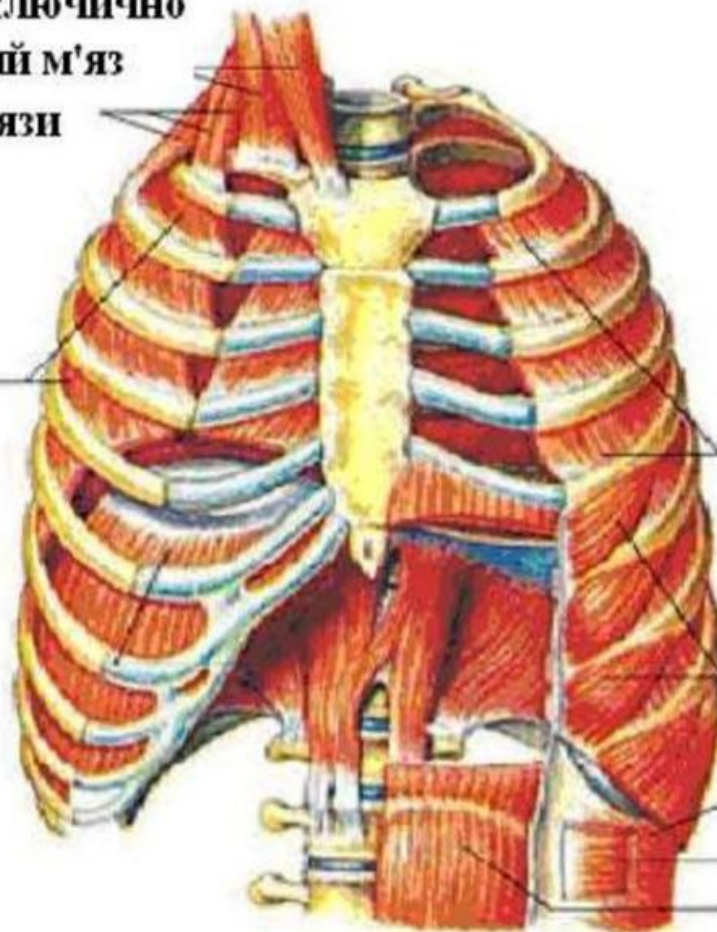
**М'ЯЗИ ВДИХУ
(ІНСПРАТОРНІ М'ЯЗИ)**

**Грудинно-ключично
сосковидний м'яз**

Драбинчасті м'язи

**Зовнішні
міжреберні
м'язи**

Діафрагма



**М'ЯЗИ ВИДИХУ
(ЕКСПРАТОРНІ М'ЯЗИ)**

**Внутрішні
міжреберні м'язи**

**Зовнішній косий
м'яз живота**

**Внутрішній косий
м'яз живота**

**Поперечний м. живота
Прямий м'яз живота**

Повітроносні шляхи

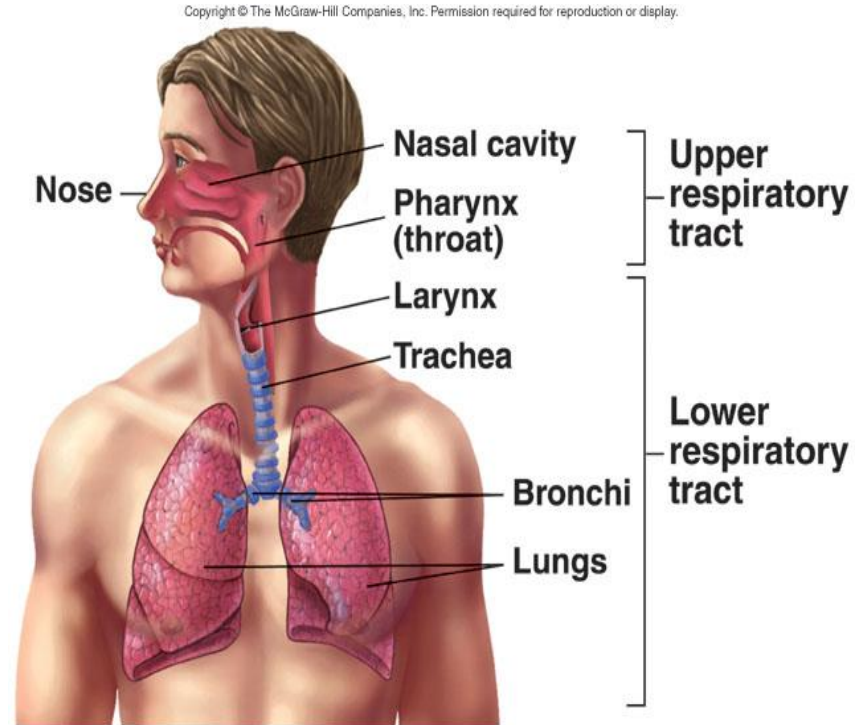
Дихальні шляхи починаються

верхнім відділом:

- ніс, додаткові пазухи носа
- євстахієві труби
- носоглотка
- ротова порожнина

Нижній відділ:

- гортань (багатошаровий пл. епітелій)
- трахея (багаторядний мерцат. епітелій)
- бронхи (багаторядний мерцат. епітелій)

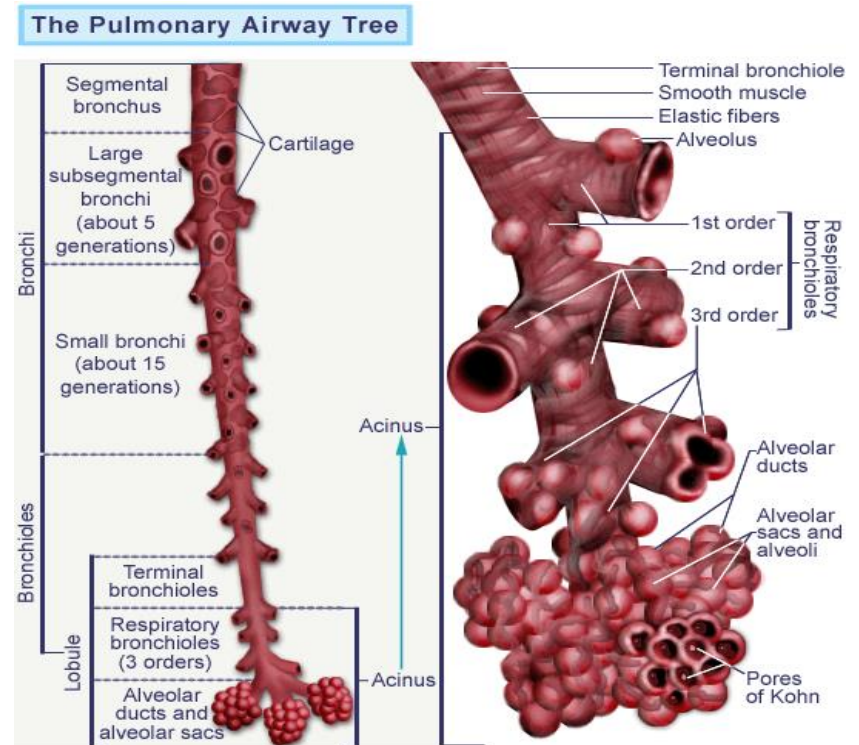


Бронхи діляться дихотомічно на 20-25 генерацій
Починаючи з 17 генерації на стінках бронхів виникають поодинокі **альвеоли** (одношар. цил. епіт. з війками)

Функціональні зони:

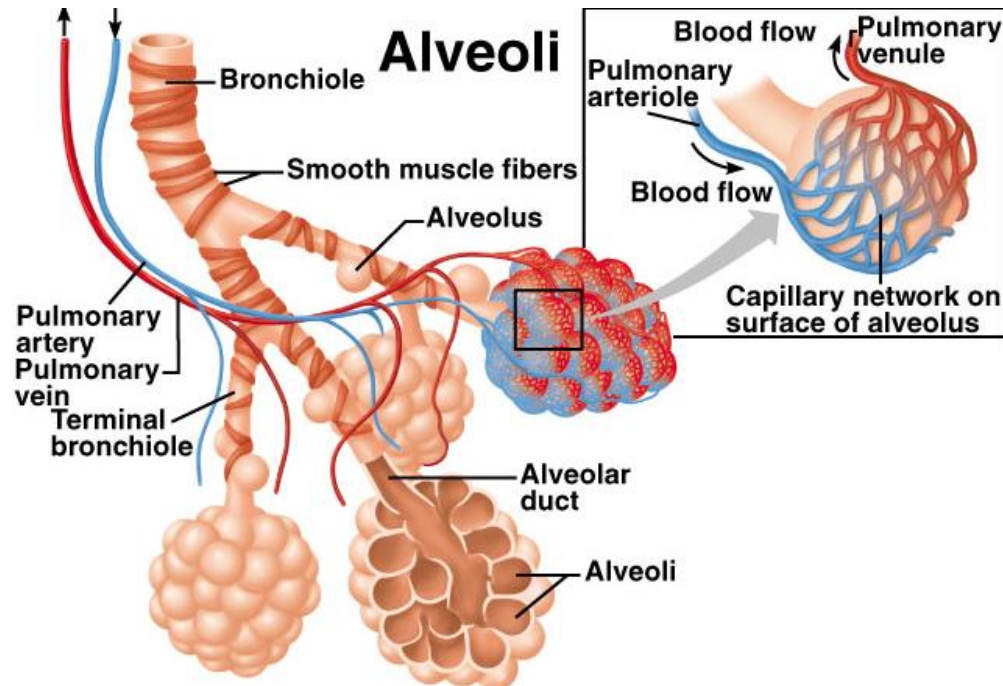
- **кондуктивна** (провідна) зона - 1-15 генерації бронхів
- **транзиторна** (перехідна) зона - 16-23 генерації бронхів
- **дихальна** (респіраторна) зона - альвеоли (близько 300 млн.)

Збільшення сумарного перетину дихальних шляхів з 2,5 см² в трахеї до 11 800 см² в альвеолах



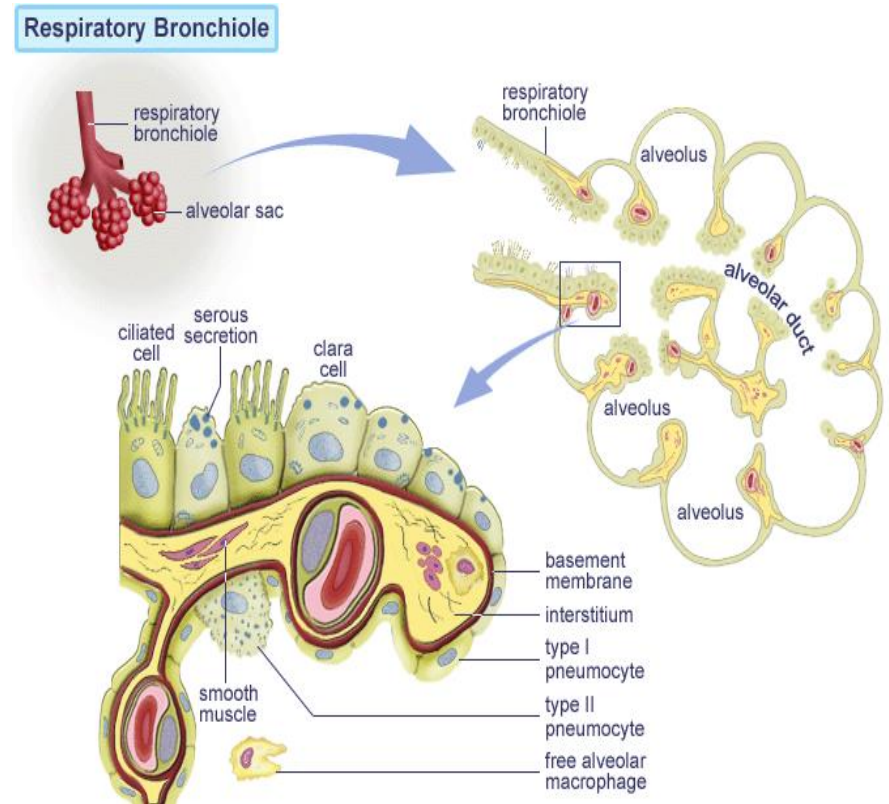
Легенева тканина

- Складається з **альвеол**, що утворюють навколо бронхіол функціональні одиниці - **ацинуси**, що групуються в часточки
- формування бронхіального дерева - **внутрішньоутробно**, ацинус розвивається протягом **усього життя**
- газообмін між кров'ю легневих капілярів і повітрям легенів
- сумарна площа - 80 м², діаметр - 0,2-0,3 мм
- кожна альвеола оточена мережею капілярів для більшої площі контакту крові

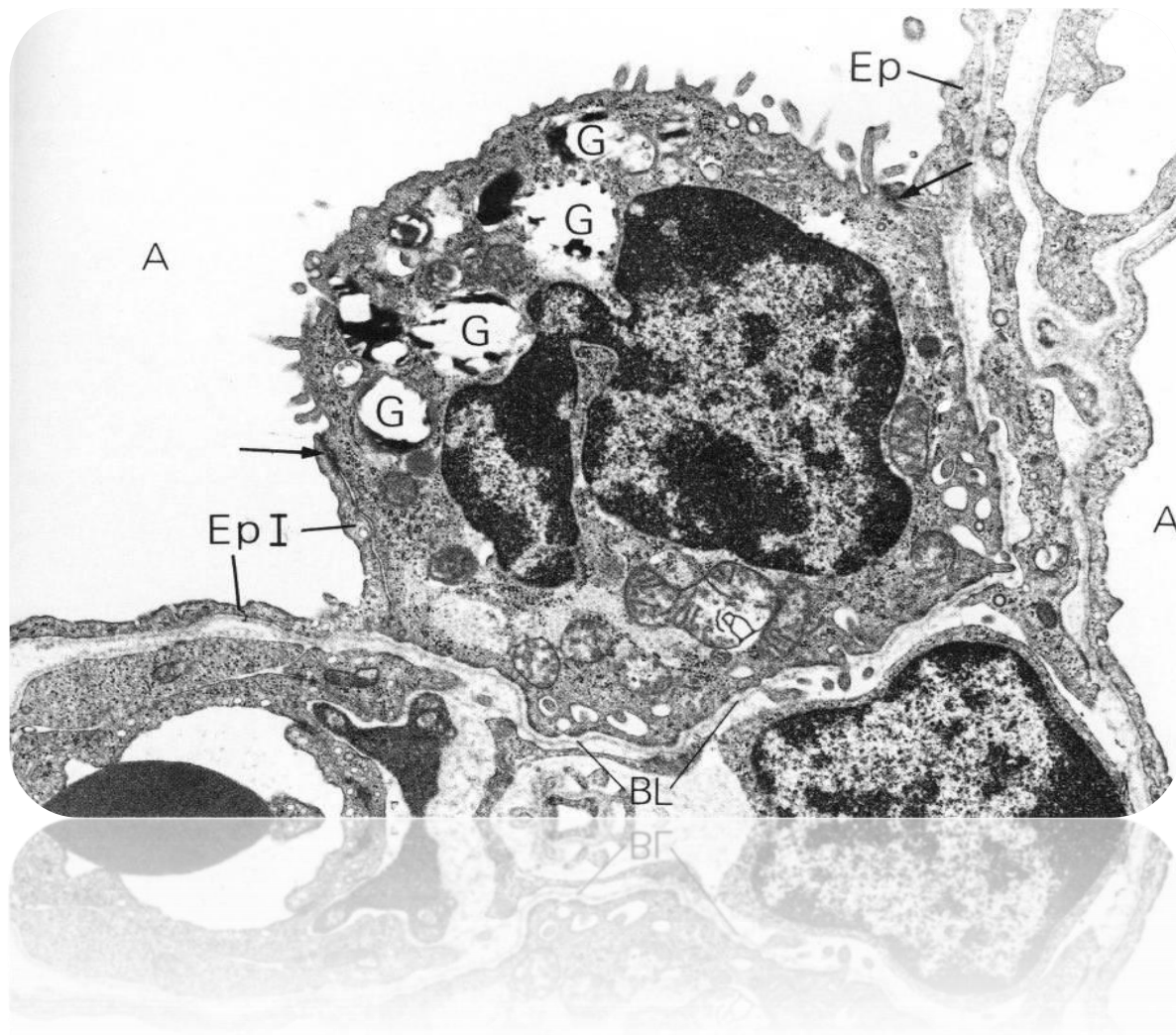


Альвеоли складаються з 2 типів епітеліальних клітин

- **Альвеолоцити I типу** - плоскі з великою подовженою цитоплазмою, прилягають до капілярів
- **Альвеолоцити II типу** - (зернисті пневмоцити) тонкі, містять цитоплазматичні вклучення продукують **сурфактант**
- Інші типи епітеліальних клітин:
 - **альвеолярні макрофаги легень**
 - **лімфоцити**
 - **плазматичні клітини**
 - **нейроендокринні клітини** (продукують поліпептиди і аміни)
 - **мастоцити** (містять гепарин, ліпіди, гістамін і протеази, які беруть участь алергічних реакціях)



Пневмоцити II типу з включеннями сурфактанта



Механізм вдиху

- У нормі дихальний цикл,
вдих: видих 1: 1,3
- перед вдихом тиск в легенях = атмосферному,
внутрішньоплевральний тиск
- 5 см вод.ст.
- імпульс від дихального центру
→ скорочення інспіраторних м'язів → збільшення обсягу грудної порожнини в трьох напрямках - вертикальному, сагітальному і фронтальному
- тиск в плевральній порожнині збільшується →
- 8 см вод.ст.
- Завдяки адгезії між парієтальним і вісцеральним листками плеври *легені розтягуються*
- в альвеолах повітря розріджується, *знижується* альвеолярний тиск
- *градієнт тисків* ззовні (атмосферний) і в альвеолах (альвеолярний) → повітря надходить по *трахеобронхіальних шляхах* в альвеоли → *вдих*
- тиск в альвеолах =
атмосферному

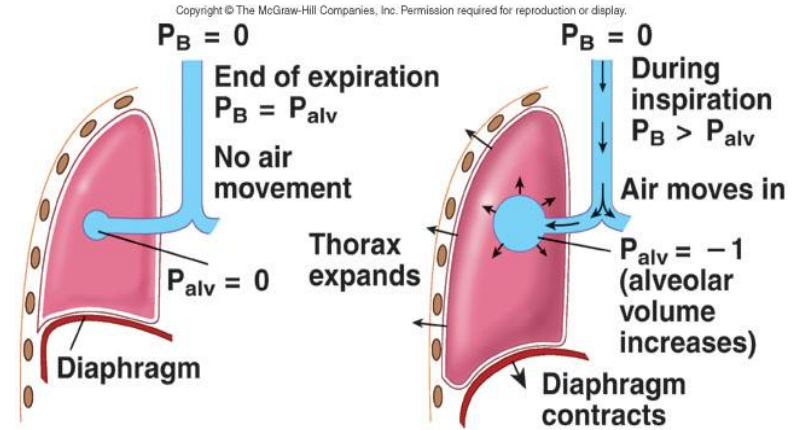
→

- Перехід від фази вдиху до видиху →
- **спокійний видих** –
- при розслабленні інспіраторних м'язів
- вага грудної клітки і нутрощів
- → обсяг грудної порожнини зменшується →

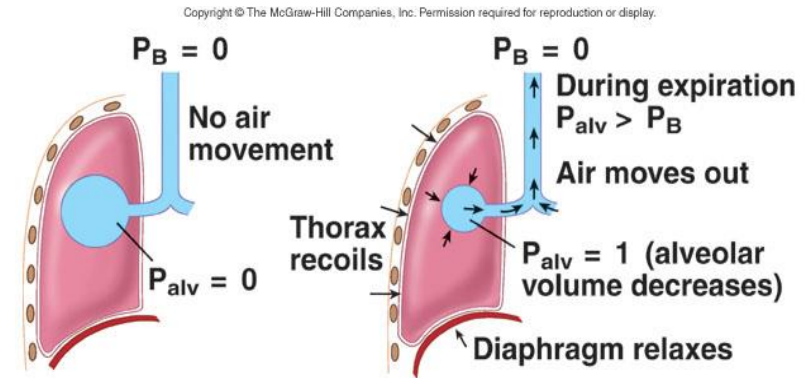
підвищується

внутрішньоплевральний тиск

- + **еластична тяга легень** повітря в альвеолах стискається, його тиск → вище атмосферного → **видих**
- видих закінчується при **рівновазі** еластичної тяги легень і тиску в плевральній порожнині



1. Barometric air pressure (P_B) is equal to alveolar pressure (P_{alv}) and there is no air movement.
2. Increased thoracic volume results in increased alveolar volume and decreased alveolar pressure. Barometric air pressure is greater than alveolar pressure, and air moves into the lungs.



3. End of inspiration.
4. Decreased thoracic volume results in decreased alveolar volume and increased alveolar pressure. Alveolar pressure is greater than barometric air pressure, and air moves out of the lungs.

Легенева вентиляція

- ***Вентиляція легень*** - процес оновлення газового складу альвеолярного повітря, надходження O_2 і виведення надлишку CO_2
- вентиляція легенів залежить від ***глибини дихання*** (дихального об'єму) і ***частоти дихальних рухів***
- вентиляція легень оцінюється по статичним і динамічним легневим об'ємам
- Використовують неінвазивні методи дослідження - ***спірометрії і спірографію***
- ***Статичні обсяги*** вимірюють при завершених дихальних рухах без обмеження їх швидкості
- ***динамічні*** - при проведенні дихальних рухів з обмеженням часу на їх виконання
- ***обсяги*** повітря, що надходять в легені, залежать від:
 - антропометричних даних
 - властивостей легеневої тканини
 - поверхневого натягу альвеол
 - сили, що розвивається дихальними м'язами

Газообмін в легенях і транспорт газів

Дифузія газів через аерогематичний бар'єр

Градiєнти парціального тиску газів:

Градiєнт парціального тиску між
атмосферним повітрям і тканиною для O_2

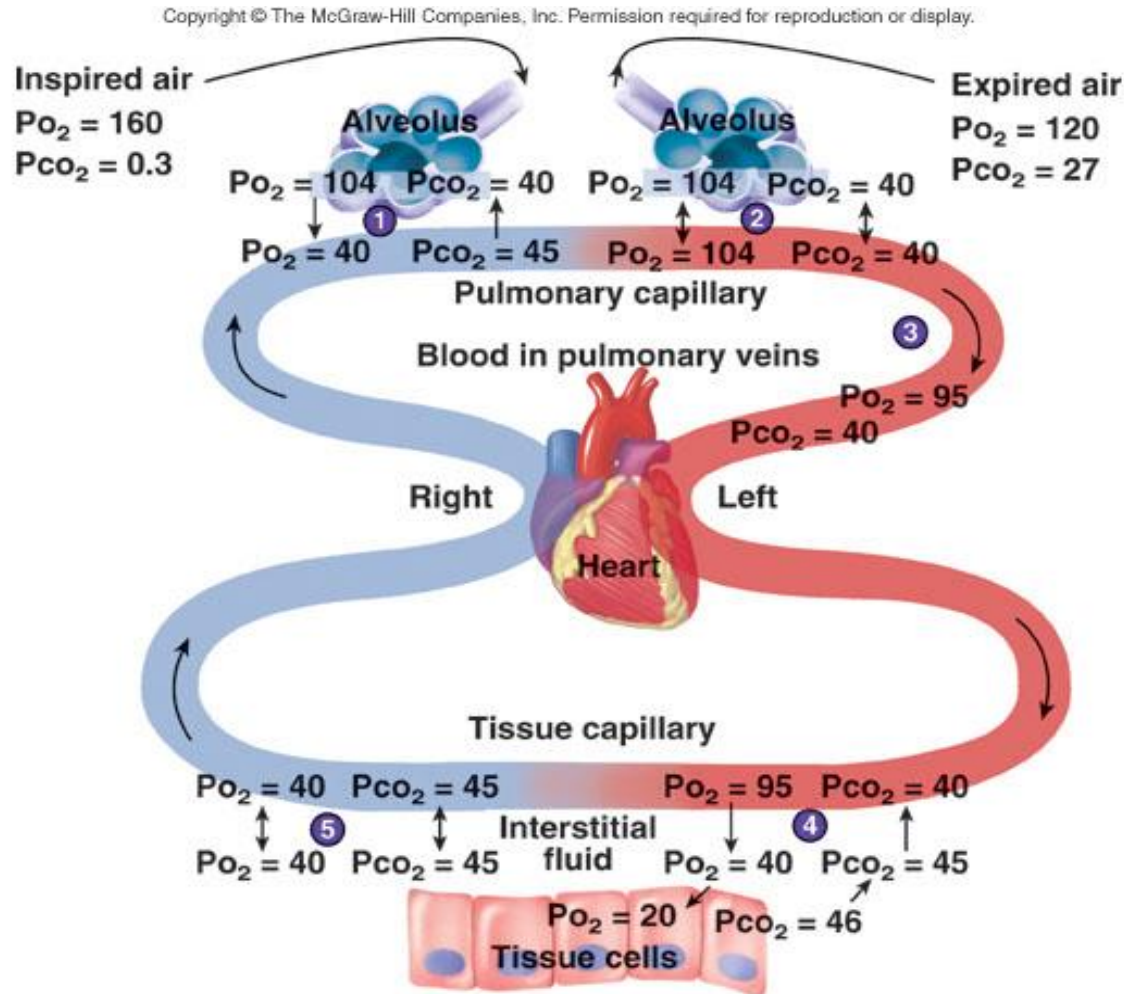
- 140 мм рт.ст.

атмосферним повітрям і тканиною для CO_2

- 60 мм рт.ст.

	<i>Повітря</i>	<i>Альвеоляр- не повітря</i>	<i>Венозна кров</i>	<i>Артеріаль- на кров</i>	<i>Клітини тканин</i>
O_2	159	102	40	96	10-15
CO_2	0,2	40	46	40	60

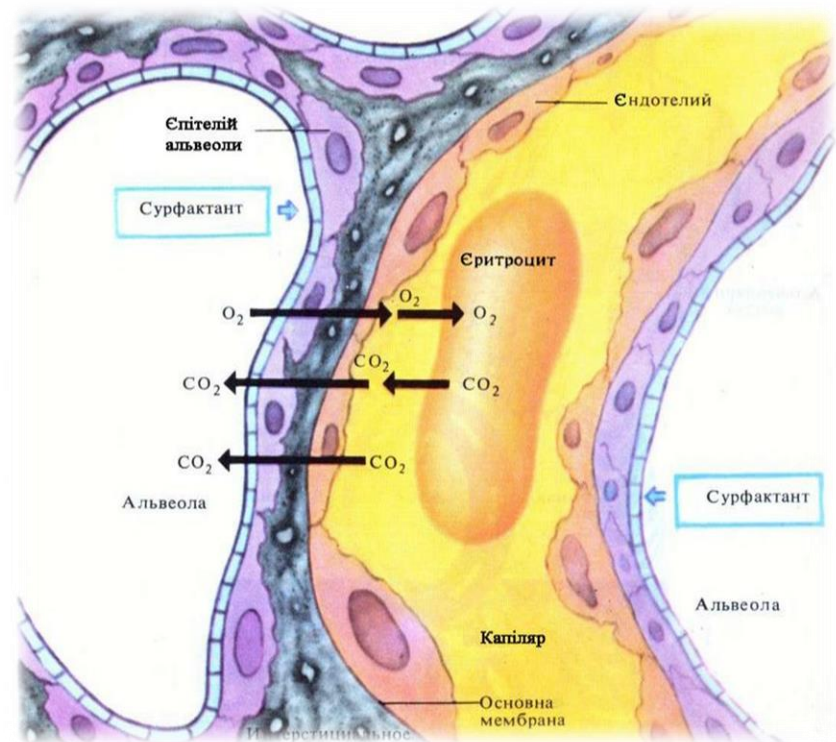
Градiєнти тискiв - рушiйна сила дифузiї O_2 i CO_2 i газообмiну в легенях
 При однакових умовах CO_2 дифундує в 23 рази швидше, нiж O_2 , незважаючи на невеликий градиєнт парцiального тиску



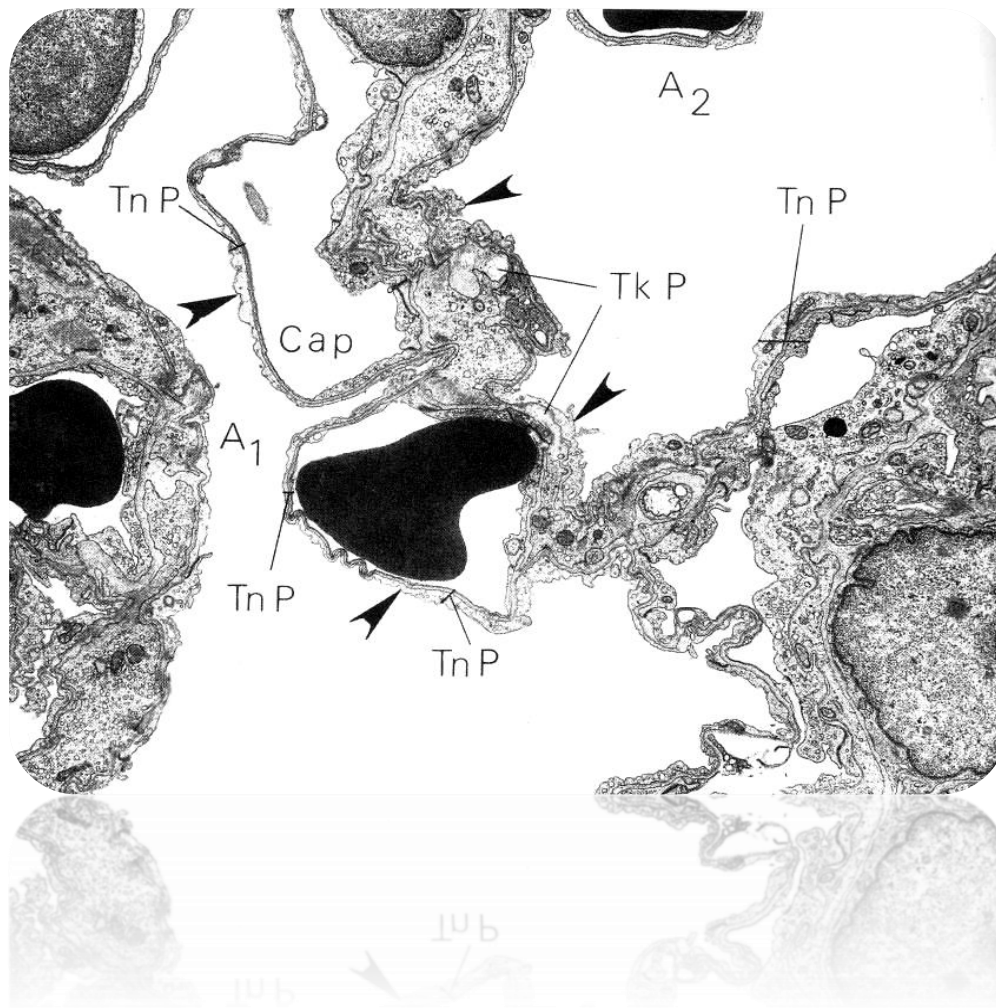
Дифузія газів відбувається через **аерогематичний бар'єр** (альвеоло-капілярну мембрану) :

- *плівка сурфактанту*
- *епітелій альвеоли*
- *інтерстицій* (2 основні мембрани)
- *ендотелій капіляра*
- *шар плазми*

газообмін через альвеолярно-капілярну мембрану - провідний **чинник** забезпечення тканинного метаболізму



Аерогематичний бар'єр

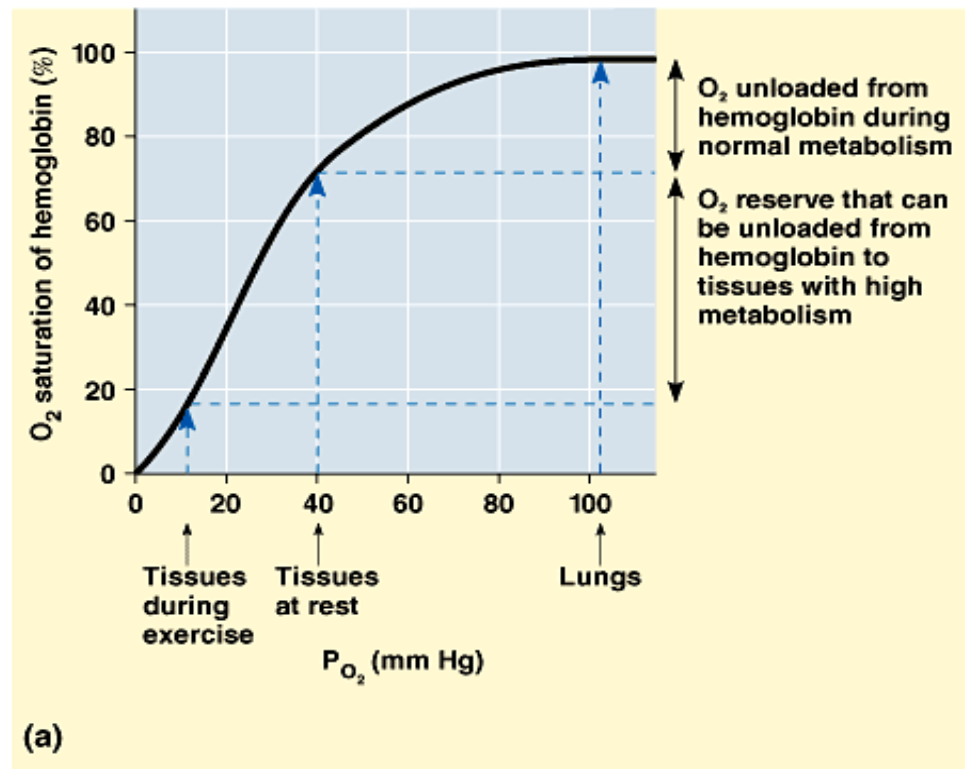


Газообмін і транспорт O_2

- Газообмін O_2 між альвеолярним повітрям і кров'ю забезпечується **концентраційним градієнтом кисню**
- градієнт O_2 в легенях
- **60 мм рт ст** –
фактор початкової стадії дифузії в кров
- транспорт O_2 здійснюється в фізично **розчиненому** і хімічно **зв'язаному з *Hb***
- гемоглобін вибірково **пов'язує O_2** з утворенням **оксигемоглобіну** в зоні високої концентрації O_2 (легені)
- і **вивільняє** його в ділянках зниженою концентрації (тканини)
- Перенесення O_2 залежить від двох властивостей гемоглобіну:
- 1) здатності змінюватися від відновленої форми **дезоксигемоглобіна**
до **окисленої ($Hb + O_2 = HbO_2$)**
з високою швидкістю (напівперіод 0,01 с) при нормальному PO_2 в альвеолярному повітрі
- 2) здатності **віддавати O_2** в тканинах (**$HbO_2 = Hb + O_2$**) в залежності від метаболічних потреб

Залежність ступеня
оксигенації Нв від
парціального тиску O_2 в
альвеолярному повітрі
графічно представляється
у вигляді *кривої
дисоціації
оксигемоглобіну* або
сатураційної кривої

Плато кривої
дисоціації характерно для
насиченою O_2
артеріальної крові,
крута *спадна*
частина кривої -
венозної крові в
тканинах



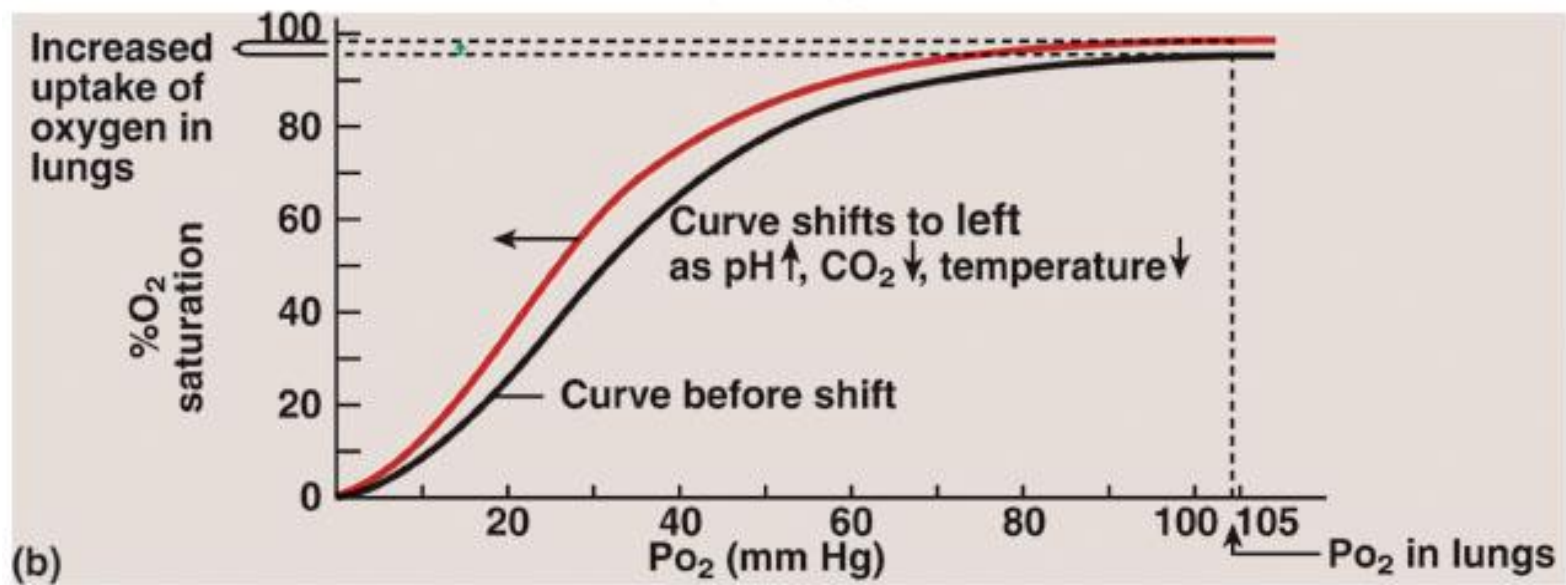
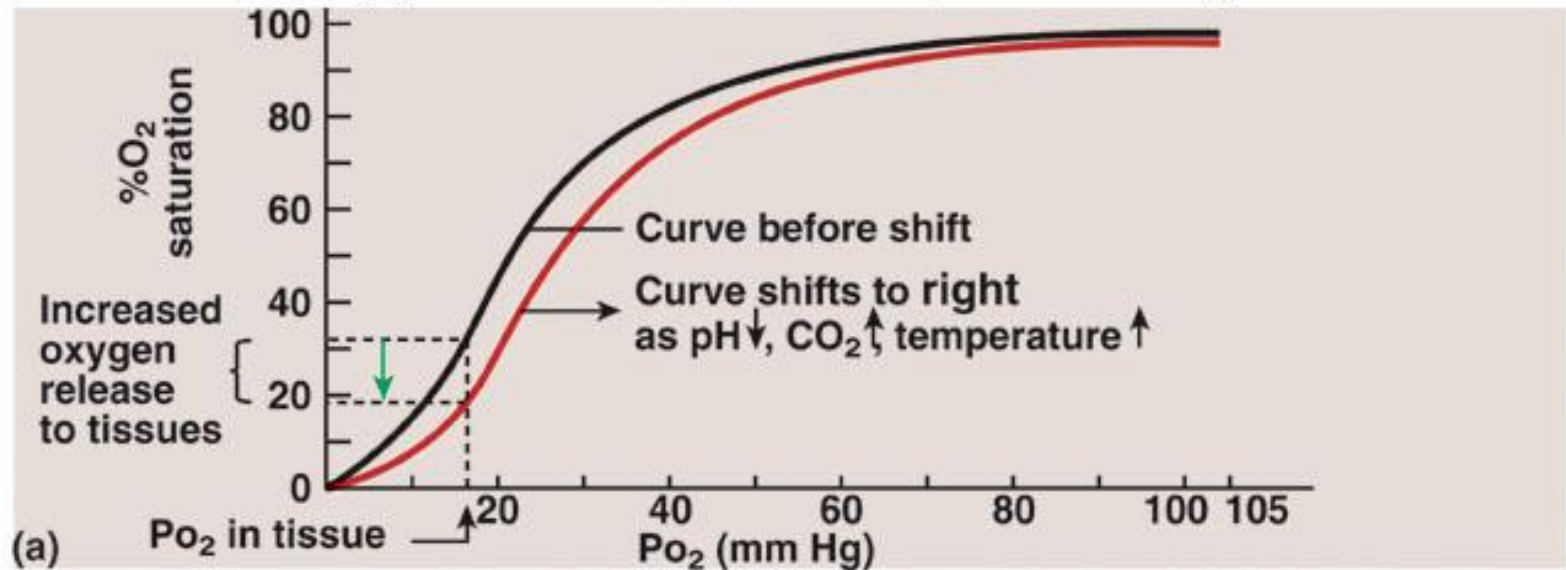
На спорідненість кисню до гемоглобіну впливають **метаболичні фактори**, що виражається у вигляді зрушень кривої дисоціації **вліво і вправо**

- Спорідненість Нв до кисню регулюється факторами метаболізму тканин:
- PO_2
- pH
- *температурою*
- внутрішньоклітинної концентрацією *2,3-дифосфоглицерата*
- Зрушення кривої **вправо** (зменшення спорідненості Нв до O_2) –
- *зменшення pH крові*
- *збільшення PCO_2*
- *зростання температури*
- *збільшення вмісту 2,3-дифосфоглицерата*

Зрушення кривої дисоціації **вліво** (підвищення спорідненості Нв до O_2) –

- *збільшення pH крові*
- *зменшення PCO_2*
- *зменшення температури тканин*
- *зменшення вмісту 2,3-дифосфоглицерата*

Вплив pH на криву дисоціації оксигемоглобіну називається «**ефектом Бора**»



- У капілярах легенів метаболічні фактори - основні регулятори зв'язування кисню гемоглобіном
- *рівень кисню*
- *pH і*
- *CO₂* в крові *підвищують спорідненість гемоглобіну до кисню в легеневих капілярах*

В умовах тканин ці ж чинники *знижують спорідненість гемоглобіну до O₂* і сприяють переходу оксигемоглобіну в відновлену форму – *дезоксигемоглобін*

- В результаті *O₂* по концентраційному градієнту надходить з крові тканинних капілярів в тканини організму

- Обмін *O₂* між кров'ю і клітинами тканин здійснюється шляхом *дифузії*
- *концентраційний градієнт O₂* між артеріальною кров'ю (100 мм рт ст)
- і тканинами (40 мм рт ст) - *60 мм рт ст*

Зміни градієнта обумовлені вмістом *O₂* в артеріальній крові і *коефіцієнтом утилізації O₂* (30-40%)

Коефіцієнт утилізації кисню - відношення *кількості кисню*, яке віддається під час проходження крові через капіляри до *кисневої ємності крові*

Газообмін і транспорт CO_2

- Газообмін CO_2 між венозною кров'ю і альвеолярним повітрям в легенях йде по **концентраційному градієнту**
6 мм рт ст
(CO_2 в крові - 46 мм рт ст, в альвеолярному повітрі – 40 мм рт ст)
- Джерела CO_2 :
 - 1) CO_2 , розчинений в плазмі крові (**5-10%**);
 - 2) з гідрокарбонатів (**80-90%**);
 - 3) з карбамінових з'єднань еритроцитів шляхом дисоціації (**5-15%**)

- Для молекулярного CO_2 коефіцієнт розчинності в мембранах аерогематичного бар'єру більше, дифузія йде **швидше**
- за 1 з вирівнюються концентрації CO_2 на альвеоло-капілярній мембрані
- за половину часу капілярного кровотоку відбувається **повний обмін CO_2** через бар'єр
- реально рівновага настає повільніше, так як перенесення CO_2 і O_2 обмежується **швидкістю перфузії капілярів легких**

Гуморальна і нервова регуляція дихання

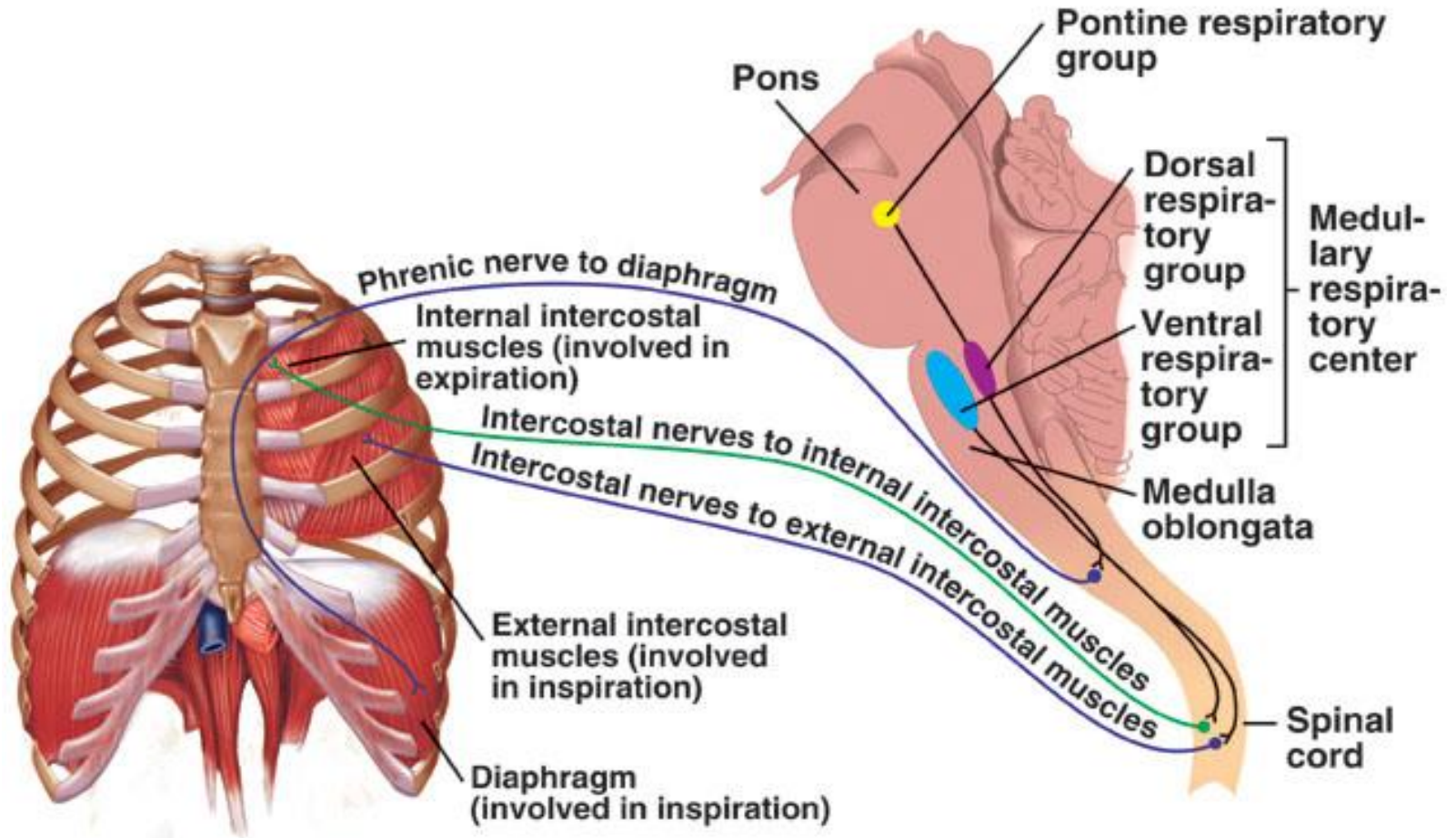
- Фізіологічна система регуляції дихання - *контур негативного зворотнього зв'язку*
- повітря надходить в альвеоли - для газообміну на *рівні альвеолярно-капілярної мембрани*
- рецептори реагують на *механічні подразники* (наповнення легенів) і *гуморальні (PO_2 і PCO_2)*
- інформація надходить в дихальний центр *довгастого мозку*, який передає нервовий імпульс до мотонейронів дихальних м'язів
- Збудження респіраторних мотонейронів - синхронне скорочення дихальних м'язів - створення повітряного потоку
- *гіпоксія і гіперкапінія* розпізнаються *хеморецепторами*,
- сигнали від них - в *дихальний центр* - підвищена імпульсація до респіраторних мотонейронів - *підвищення хвилиної вентиляції*
- артеріальна *гіпокапінія* - *зменшення вентиляції*

Дихальний центр

«Дихальний центр» - комплекс нейронів, розташованих на різних рівнях ЦНС і об'єднаних виконанням загальної функції - **регулювання дихання**

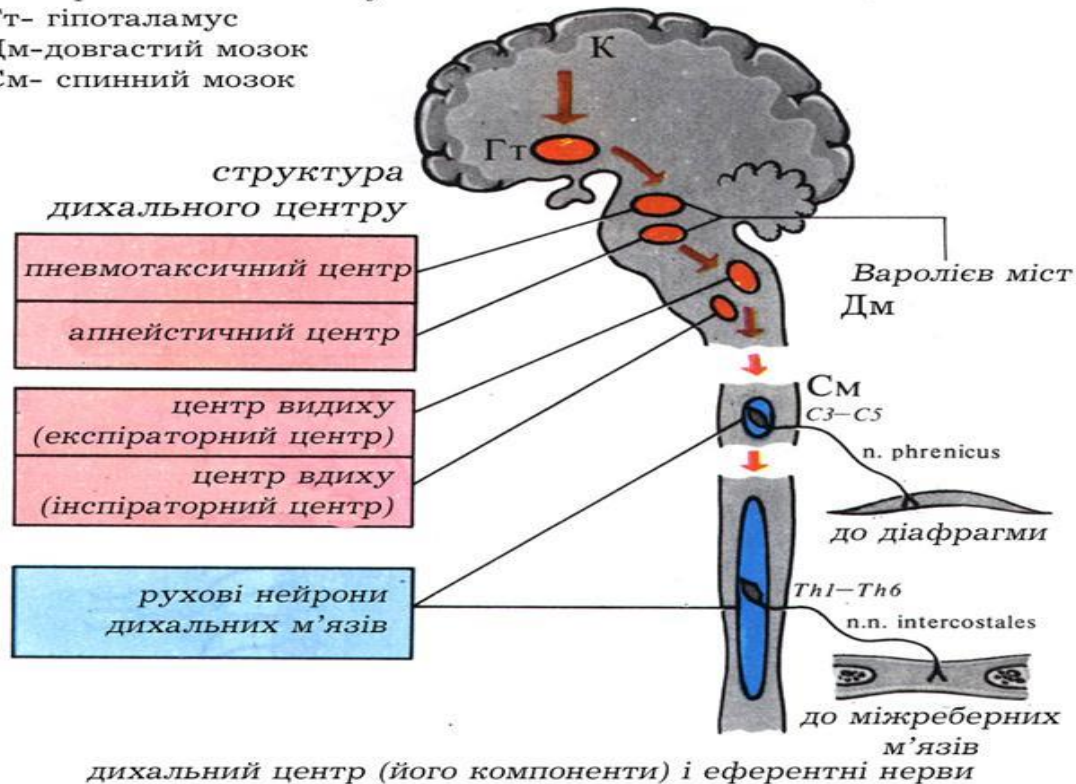
- (ритм і глибина дихання в залежності від стану організму і зовнішнього середовища)
- дихальний центр здійснює: **моторну функцію** - скорочення дихальних м'язів
- **гомеостатичну** - зміна характеру дихання при зрушеннях O_2 і CO_2

- **Рухова функція** реалізується генерацією дихального ритму і його патерну (тривалість вдиху і видиху, ДО, ХОД)
- **рухова функція:**
- адаптує дихання відповідно **до метаболічних потреб** організму
- і здійснює інтеграцію дихання з іншими функціями ЦНС
- **гомеостатична функція:**
- підтримує норму O_2 , CO_2 і pH в крові і позаклітинній рідині мозку
- регулює дихання при зміні температури тіла
- адаптує дихання до умов зміненої газового середовища (зниження і підвищення барометричного тиску)

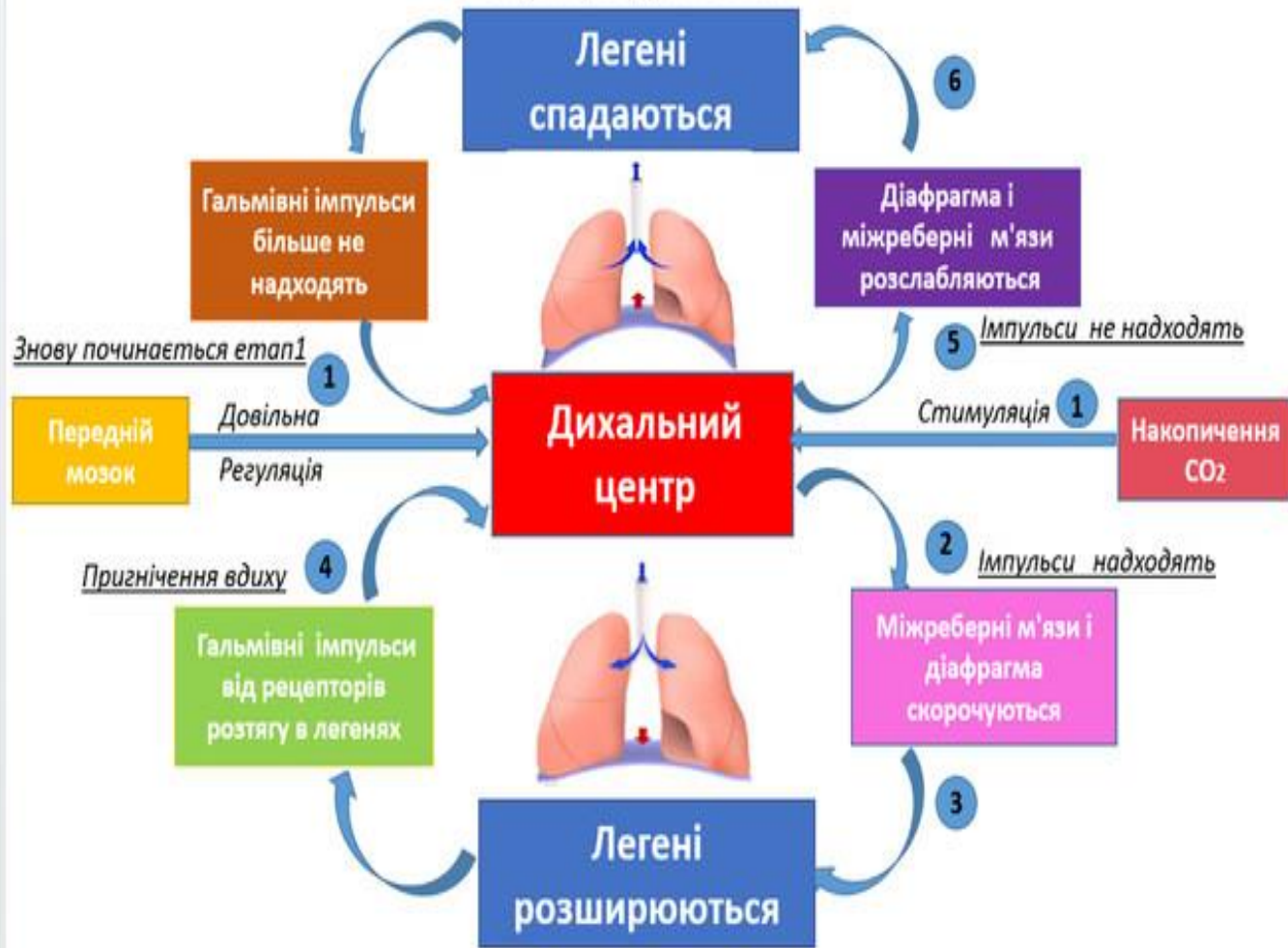


- Виділяють: - *нижчий відділ ДЦ*, розташований в спинному мозку;
 - *робочий відділ ДЦ*, розташований в стовбурі мозку;
 - *вищий відділ ДЦ*, розташований в гіпоталамусі, підкіркових ядрах, корі великих півкуль

К- кора головного мозку
 Гт- гіпоталамус
 Дм- довгастий мозок
 См- спинний мозок



Регуляція дихання



Возвращаются

Легені!

Нижчий відділ ДЦ:

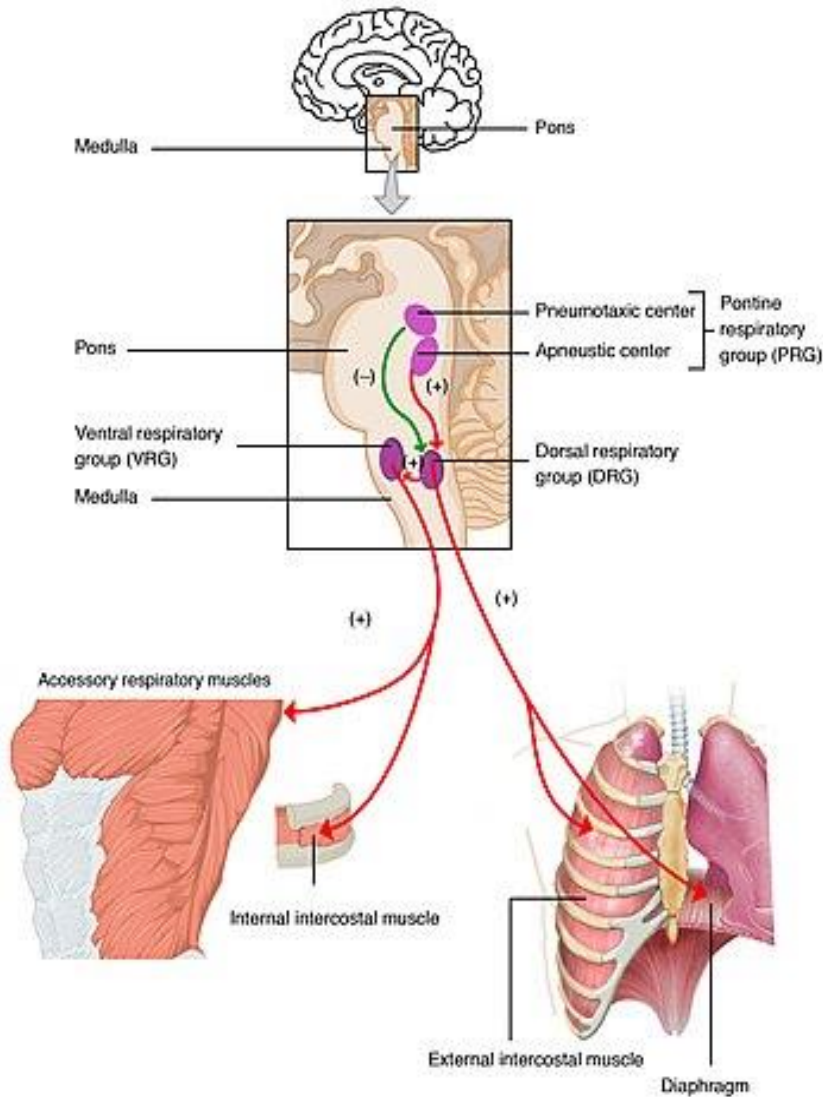
- Розташований у спинному мозку та представлений *нейронами передніх рогів сірої речовини спинного мозку*
- Мотонейрони діафрагмального нерву залягають на рівні **C III – C V**,
- мотонейрони інспіраторних міжреберних нервів – на рівні **Th II-VI**,
- експіраторних нервів – **Th VIII-X**
- Рухові ядра еферентних нервів викликають скорочення дихальних м'язів, але *не забезпечують регуляцію ритму дихання*
- Перерізка мозку між спинним і довгастим (відсутній зв'язок з вищерозташованими відділами) викликає *зупинку дихання*,
перерізка на рівні нижніх шийних сегментів викликає *припинення реберного дихання при збереженні діафрагмального*

Робочий відділ ДЦ:

- **Робочий відділ** ДЦ, який формує **ритм дихання**, знаходиться на рівні стовбура мозку - на дні IV шлуночка в медіальній частині ретикулярної формації довгастого мозку і ділиться на два відділи:
- - **інспіраторний (центр вдиху)**
- - **експіраторний (центр видиху)**



- **Інспіраторні** дихальні нейрони формують **дорсальну групу** і розряджаються серією імпульсів в **фазу вдиху**
- вони дають нисхідні шляхи, які закінчуються на мотонейронах **діафрагмального нерва**
- нейрони інспіраторної групи здатні до **мимовільного періодичного збудження**, відповідають за **періодичність дихання** розряджаються **незадовго до вдиху і під час вдиху**



- *Експіраторні* дихальні нейрони формують *вентральну групу* і розряджаються в *фазу видиху*
- нисхідні волокна йдуть до мотонейронів *міжреберних і черевних м'язів*
- у вентральній групі знаходяться еферентні *прегангліонарні нейрони блукаючого нерва*, що забезпечують синхронні з фазами *дихання зміни просвіту дихальних шляхів*
- максимальна активність нейронів блукаючого нерва, що викликають підвищення тонузу гладких м'язів *повітроносних шляхів*, спостерігається
- в кінці видиху,
- мінімальна - в кінці вдиху

Вищий відділ ДЦ:

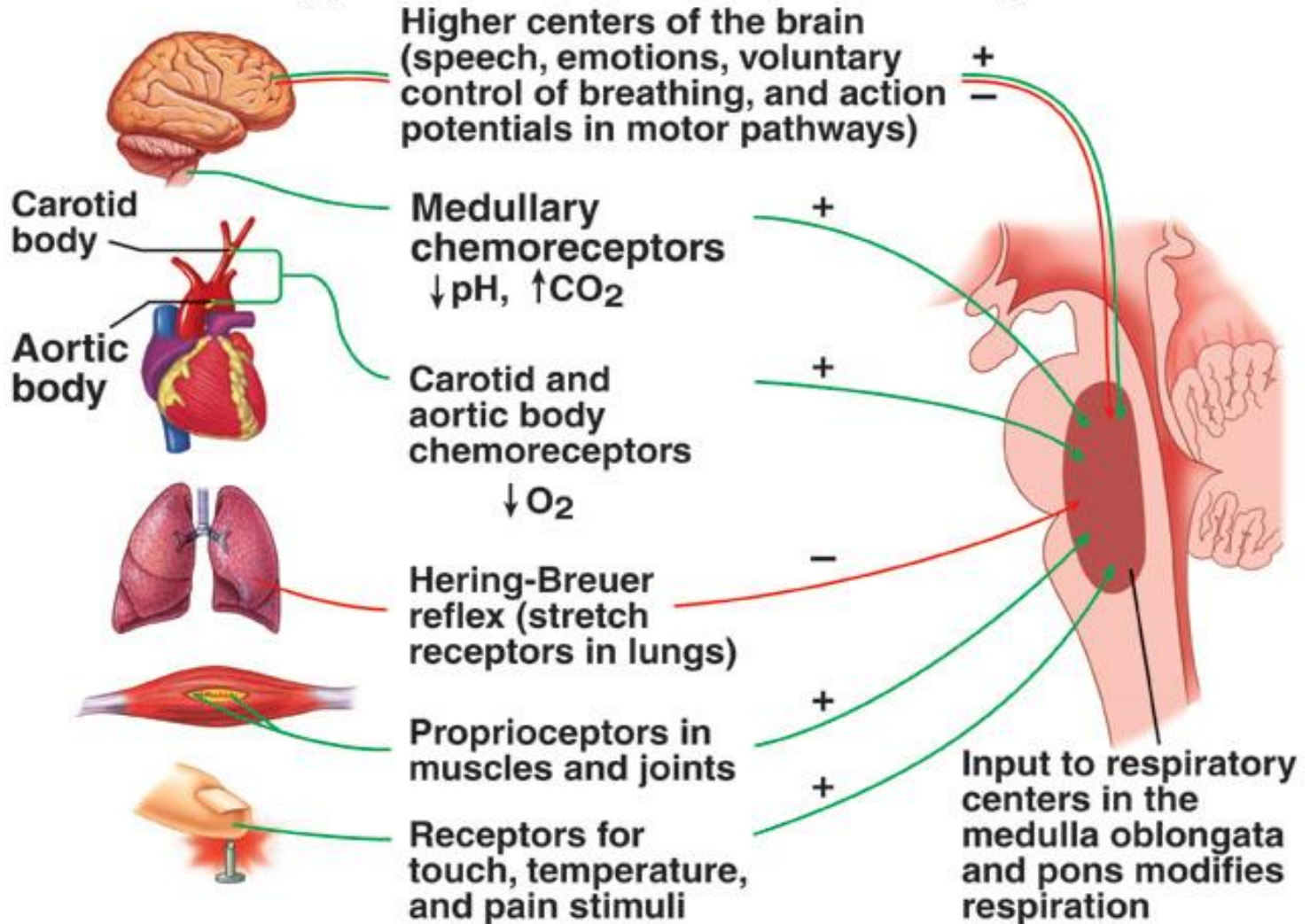
- *тонке пристосування дихання до мінливих умов навколишнього середовища* (проміжний мозок, гіпоталамус, кора великих півкуль)
- *зв'язок з іншими вегетативними функціями* (проміжний мозок, гіпоталамус і лімбічна система)
- зокрема:
 - - при зміні обміну речовин і кровообігу,
 - - при підвищенні температури тіла (5-6 дихальних рухів за хв при підвищенні t на 1°C),
 - - при афективних станах (лють, переляк),
 - - при больовому подразненні,
 - - при подразненні терморцепторів шкіри
- Кора великих півкуль відіграє особливу роль в регуляції дихання - участь дихального апарату в мовоутворенні
- довільна до певних меж зміна ритму і глибини дихання
- затримка дихання на 30-60 сек
- На рівні кори формуються *умовні рефлекси дихальної системи*

Гуморальна регуляція:

- У процесі життєдіяльності інтенсивність обміну речовин, споживання O_2 і виділення CO_2 безперервно змінюються
- легенева вентиляція завжди регулюється таким чином, щоб забезпечити обмін газів при *збереженні оптимального газового складу альвеолярного повітря і артеріальної крові*
- головним природним стимулятором ДЦ є парціальний тиск CO_2 в альвеолярному повітрі і артеріальної крові
- Підвищення парціального тиску CO_2 в спинномозковій рідині і крові стимулює ДЦ шляхом впливу на центральні хеморецептори, розташовані в довгастому мозку
- посилення дихальних рухів спостерігається при *зсуві рН в кислий бік*

Рефлекторна регуляція:

- Забезпечується *власними і сполученими рефлексами* дихальної системи
- *власні рефлекси* починаються і закінчуються в межах дихальної системи і починаються на:
 - *механорецепторах* легень
 - *механорецепторах* верхніх дихальних шляхів
 - *пропріорецепторах*
- Рефлекторна регуляція дихання здійснюється завдяки зв'язкам нейронів дихального центру з механорецепторами дихальних шляхів і альвеол легенів і рецепторів судинних рефлексогенних зон
- у легенях людини знаходяться наступні типи механорецепторів:
 - 1) *ірітантні рецептори* (швидко адаптуються) слизової оболонки дихальних шляхів
 - 2) *рецептори розтягування* гладких м'язів дихальних шляхів
 - 3) J-рецептори



Дякую за увагу!