



*Фізіологія системи*

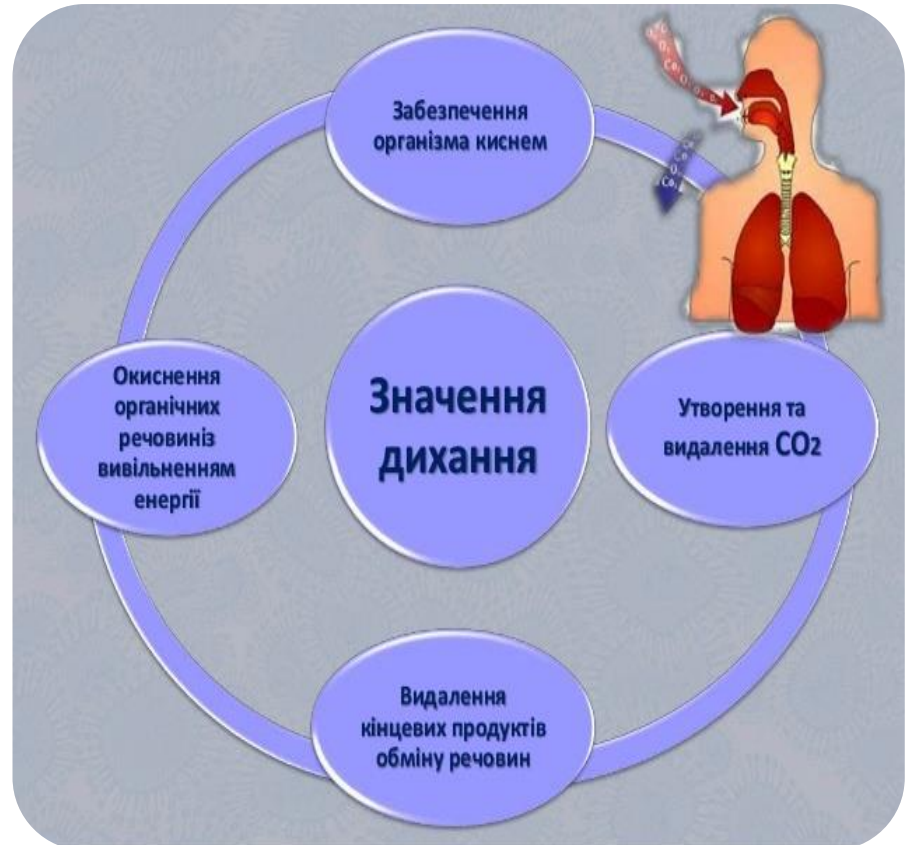
*ДИХАННЯ*

*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 легених  
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

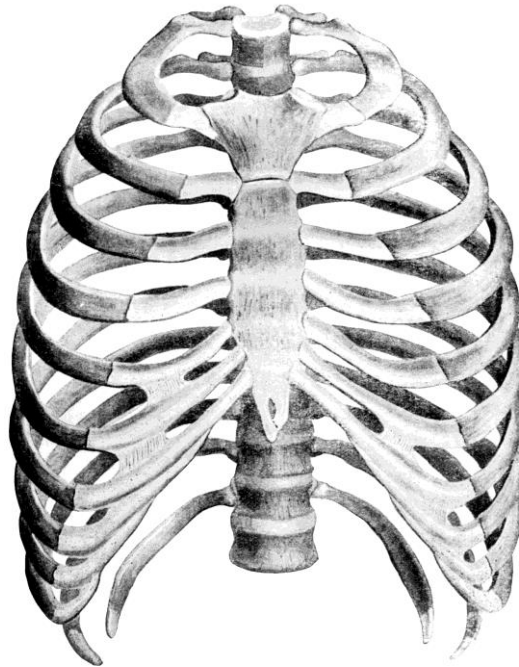


Глотка

# 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**

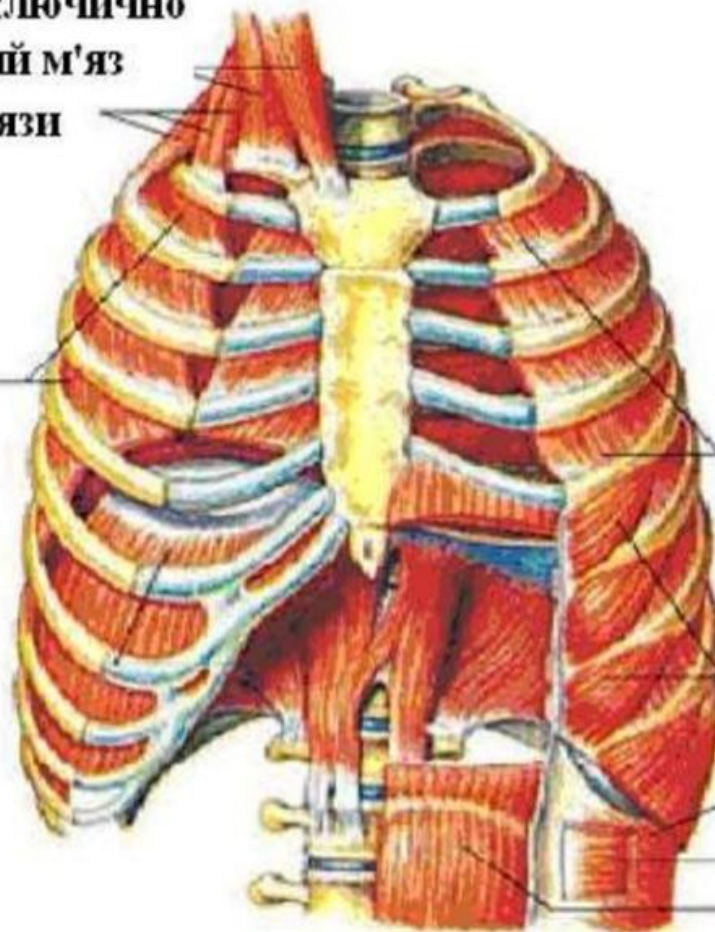


**М'ЯЗИ ВДИХУ  
(ІНСПРАТОРНІ М'ЯЗИ)**

Грудинно-ключово-соскоvidний 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

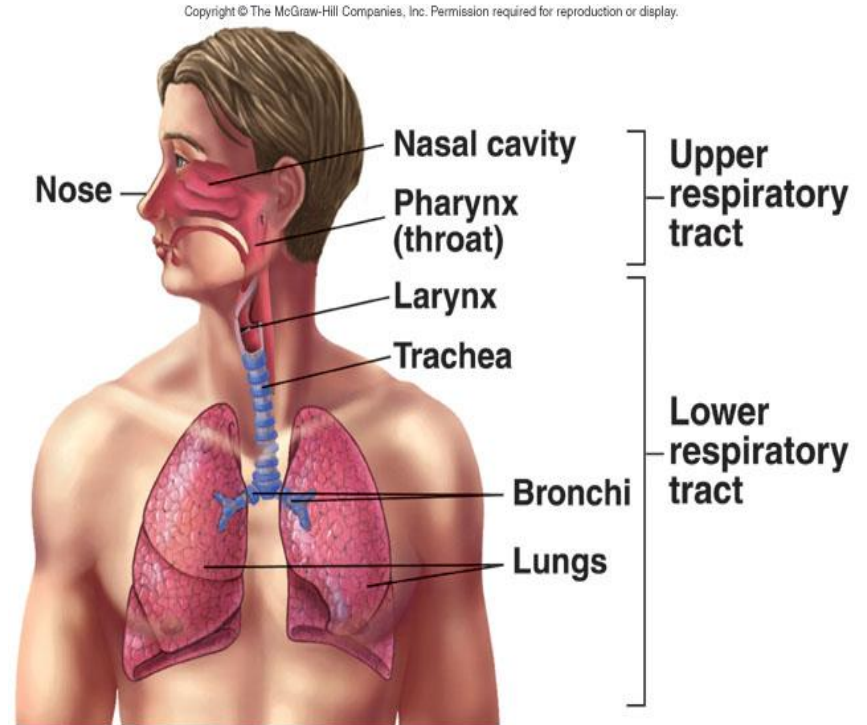
Дихальні шляхи починаються

## *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)



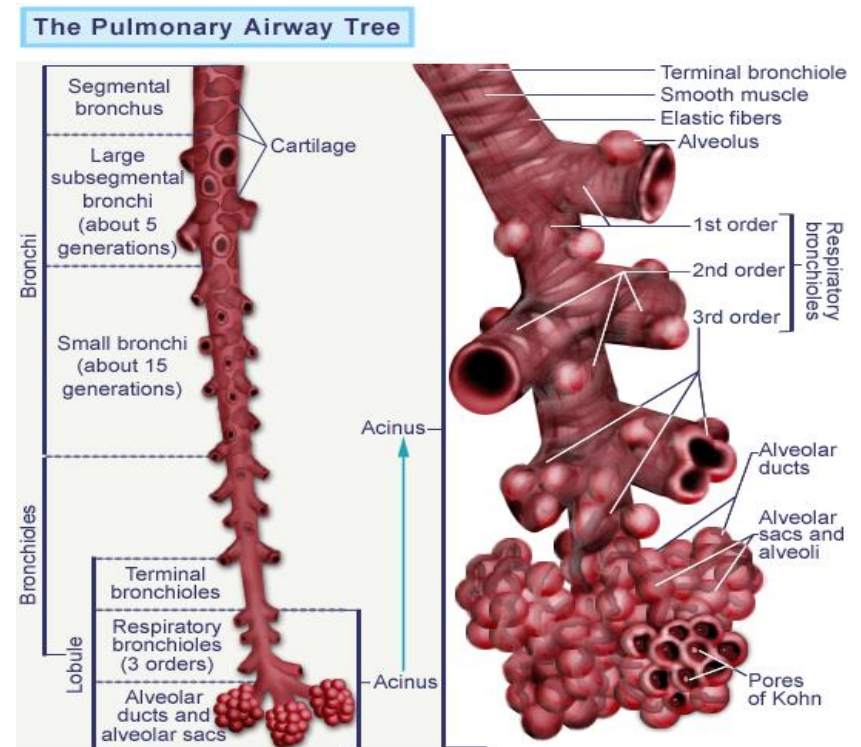


Бронхи діляться дихотомічно на 20-25 генерацій  
Починаючи з 17 генерації на стінках бронхів виникають поодинокі  
**альвеоли** (одношар. цил. епіт. з війками)

### **Функціональні зони:**

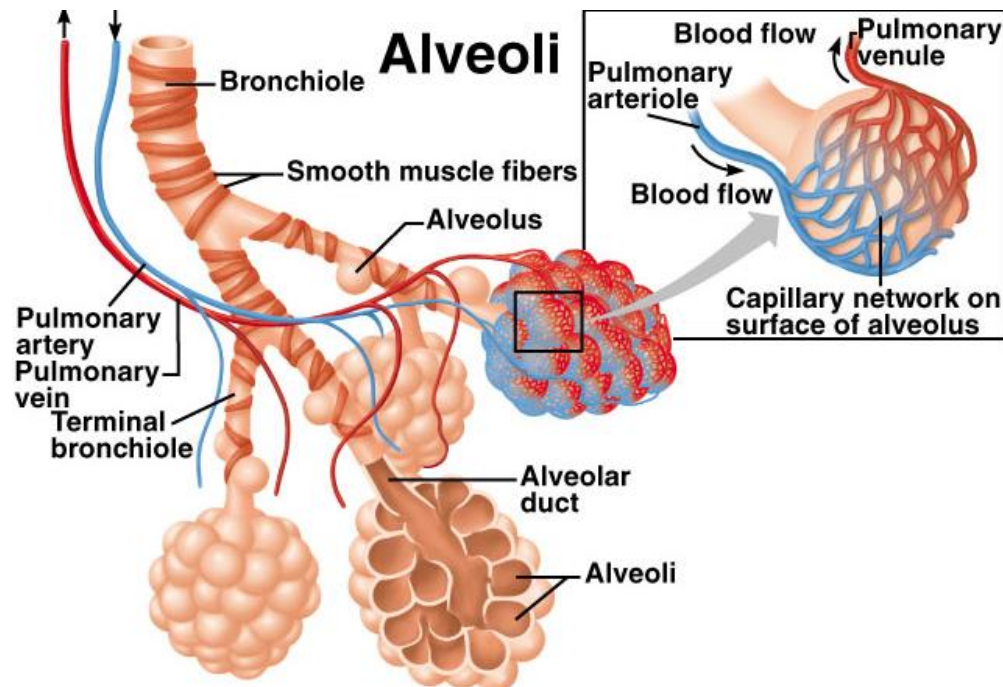
- **кондуктивна** (провідна)  
зона - 1-15 генерації бронхів
- **транзиторна** (перехідна)  
зона - 16-23 генерації  
бронхів
- **дихальна** (респіраторна)  
зона - альвеоли (близько 300  
млн.)

Збільшення сумарного  
перетину дихальних шляхів  
з  $2,5 \text{ см}^2$  в трахеї до  
 $11\,800 \text{ см}^2$  в альвеолах



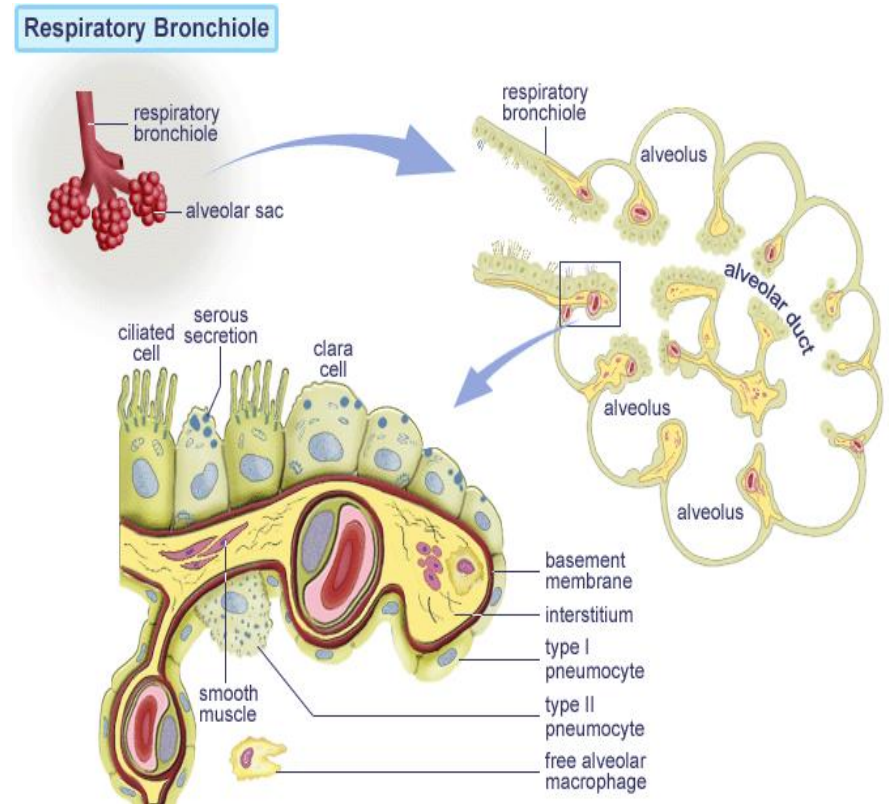
## *Легенева тканина*

- 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 легених капілярів і повітрям легенів
- сумарна площа - 80 м<sup>2</sup>, діаметр - 0,2-0,3 мм
- кожна альвеола оточена мережею капілярів для більшої площі контакту крові

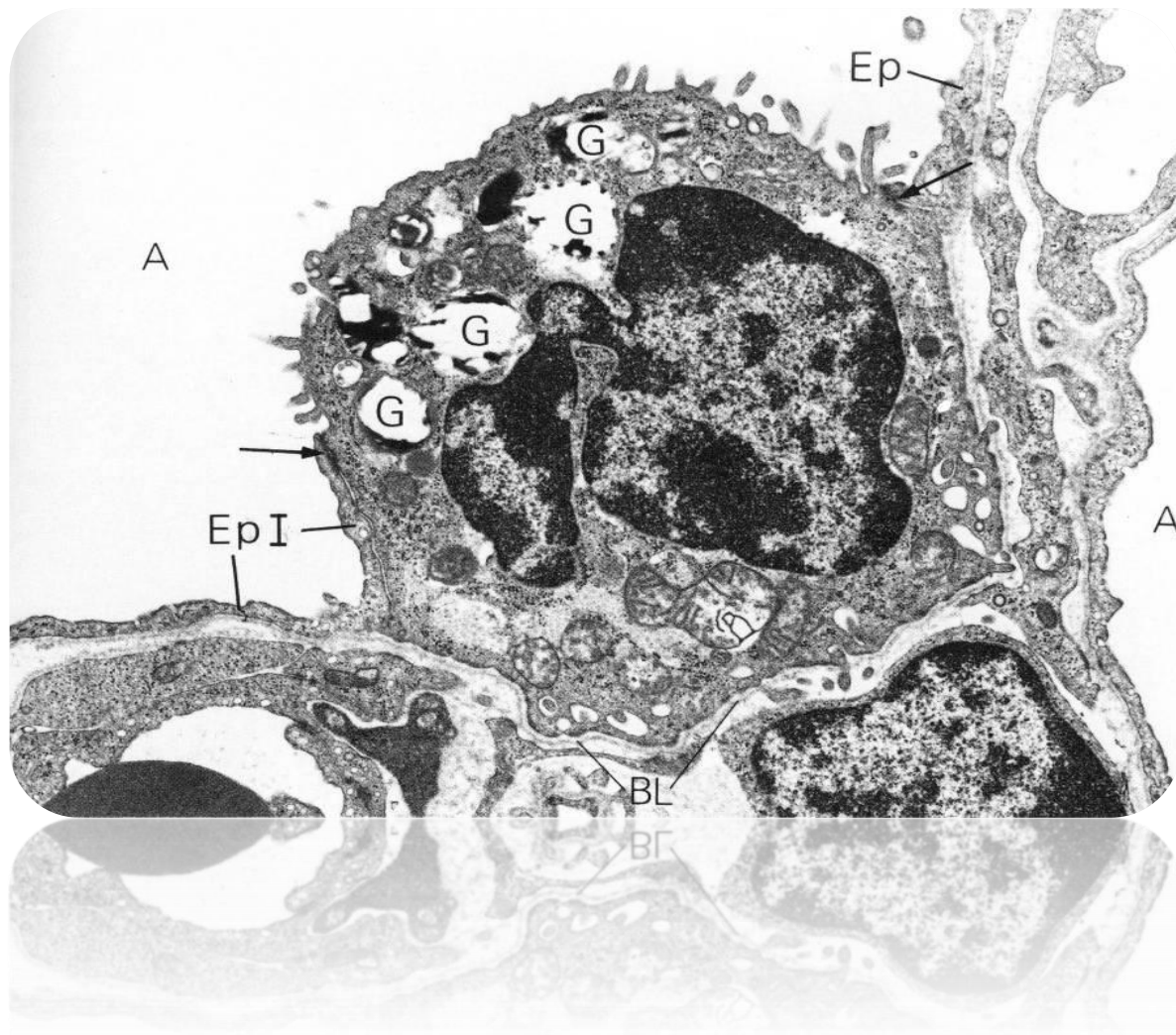


## Альвеоли складаються з 2 типів епітеліальних клітин

- **Альвеолоцити I типу** - плоскі з великою подовженою цитоплазмою, прилягають до капілярів
- **Альвеолоцити II типу** - (зернисті пневмоцити) тонкі, містять цитоплазматичні включення 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  
листочками 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

→

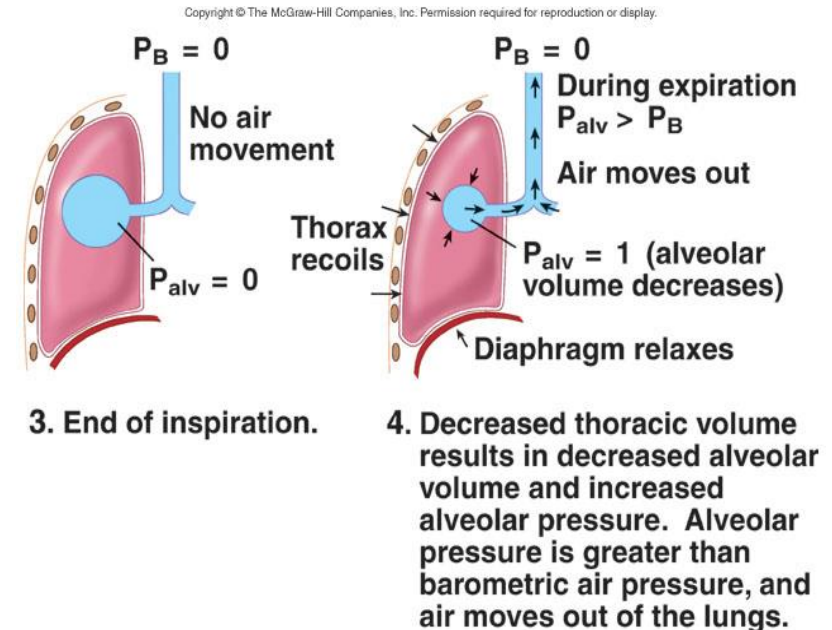
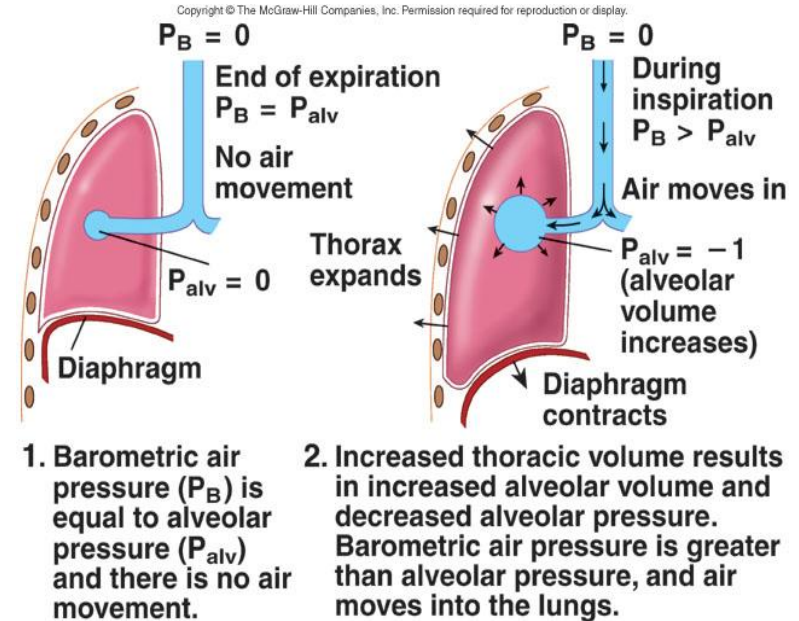


- Перехід від фази вдиху до видиху →
- **спокійний видих** –
- при розслабленні інспіраторних м'язів
- вага грудної клітки і нутрощів
- → обсяг грудної порожнини зменшується →

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





## *Легенева вентиляція*

- ***Вентиляція легень*** - процес оновлення газового складу альвеолярного повітря, надходження  $O_2$  і виведення надлишку  $CO_2$
- вентиляція легень 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  $O_2$

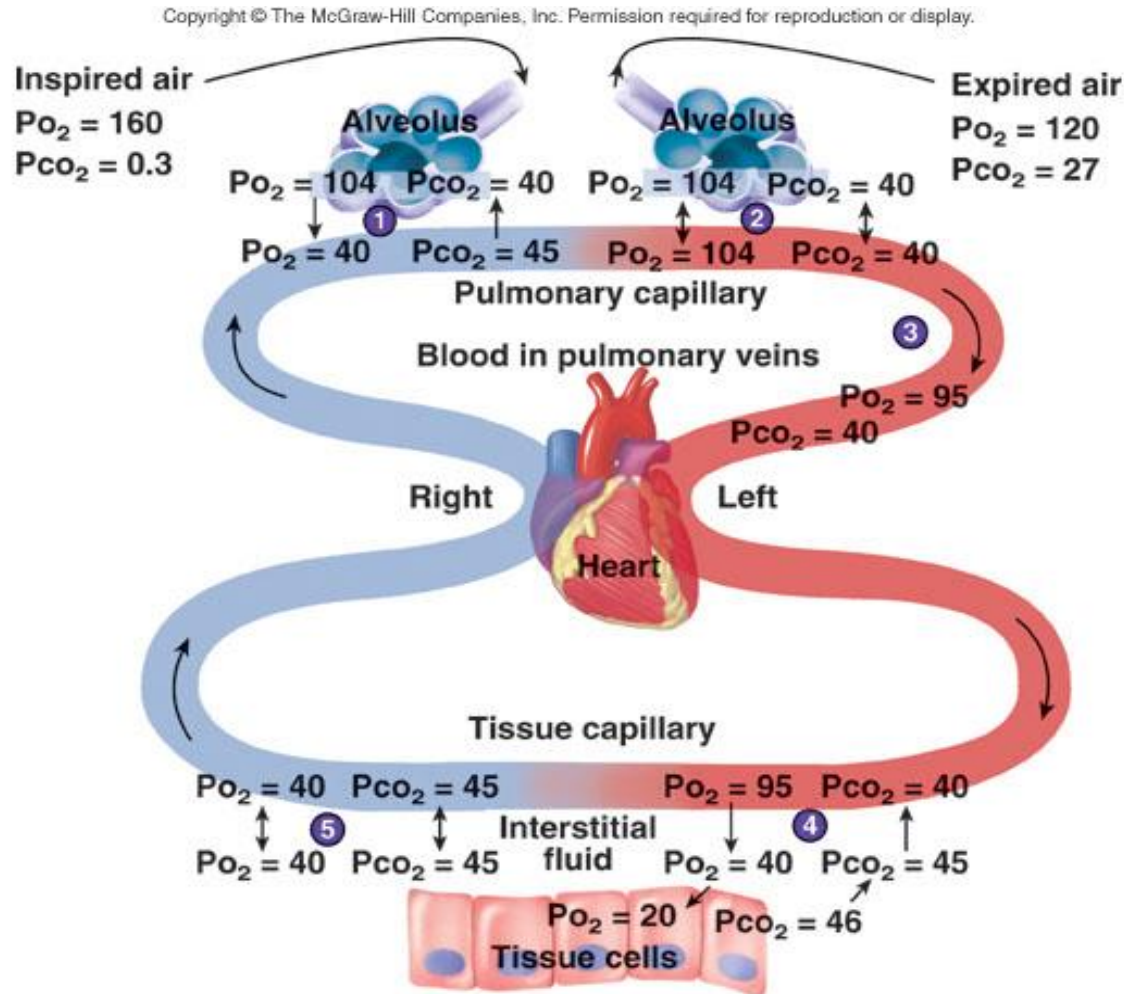
*- 140 мм рт.ст.*

атмосферним повітрям і тканиною для  $CO_2$

*- 60 мм рт.ст.*

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

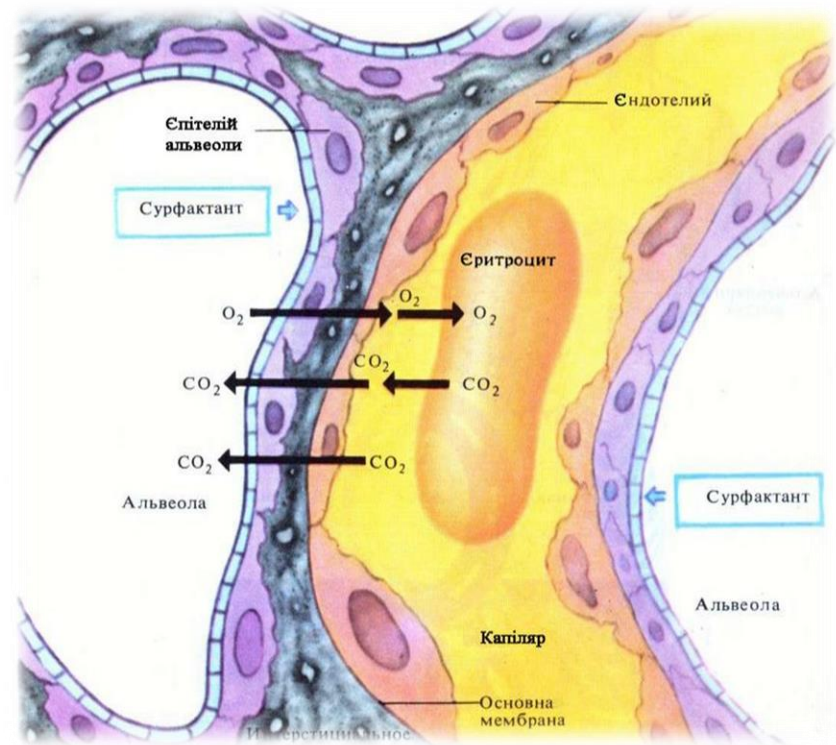
Градiєнти тискiв - рушiйна сила дифузiї  $O_2$  i  $CO_2$  i газообмiну в легенях  
При однакових умовах  $CO_2$  дифундує в 23 рази швидше, нiж  $O_2$ ,  
незважаючи на невеликий градиєнт парцiального тиску



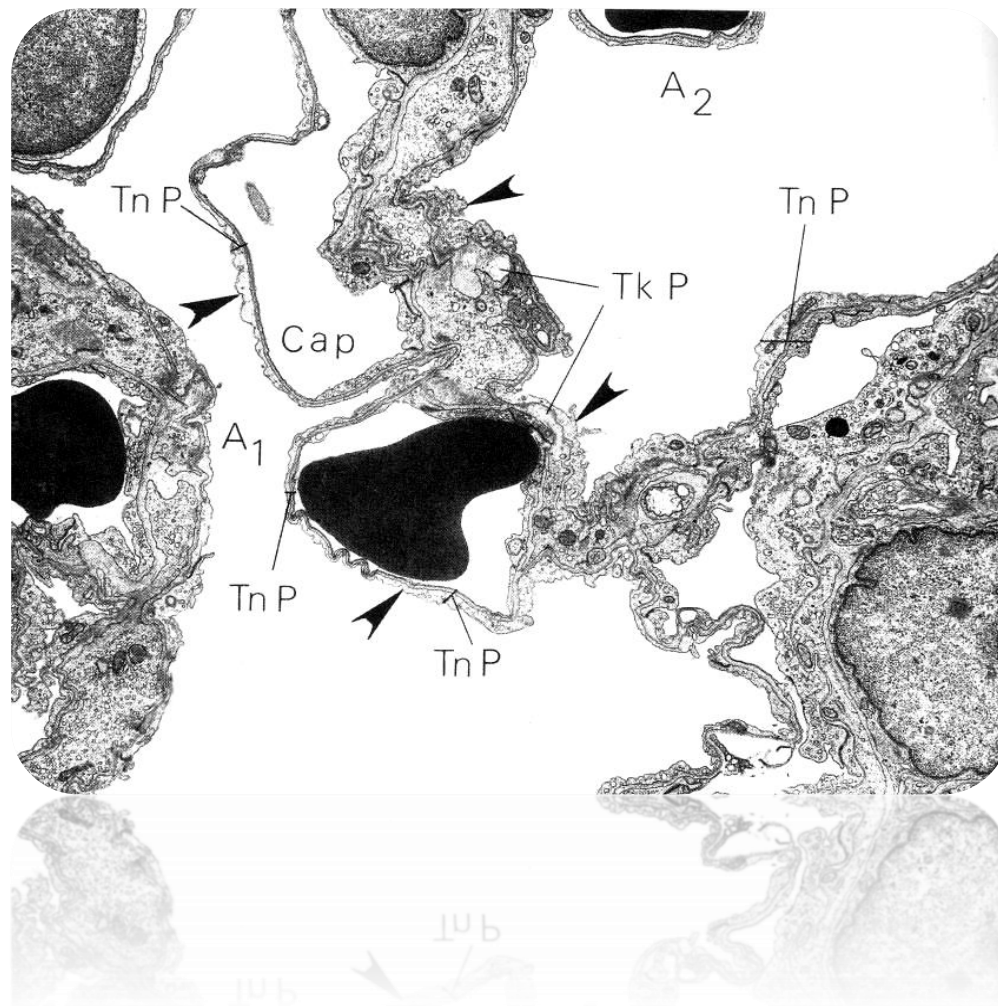
Дифузія газів відбувається через  
*аерогематичний бар'єр*  
(альвеоло-капілярну мембрану) :

- *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*



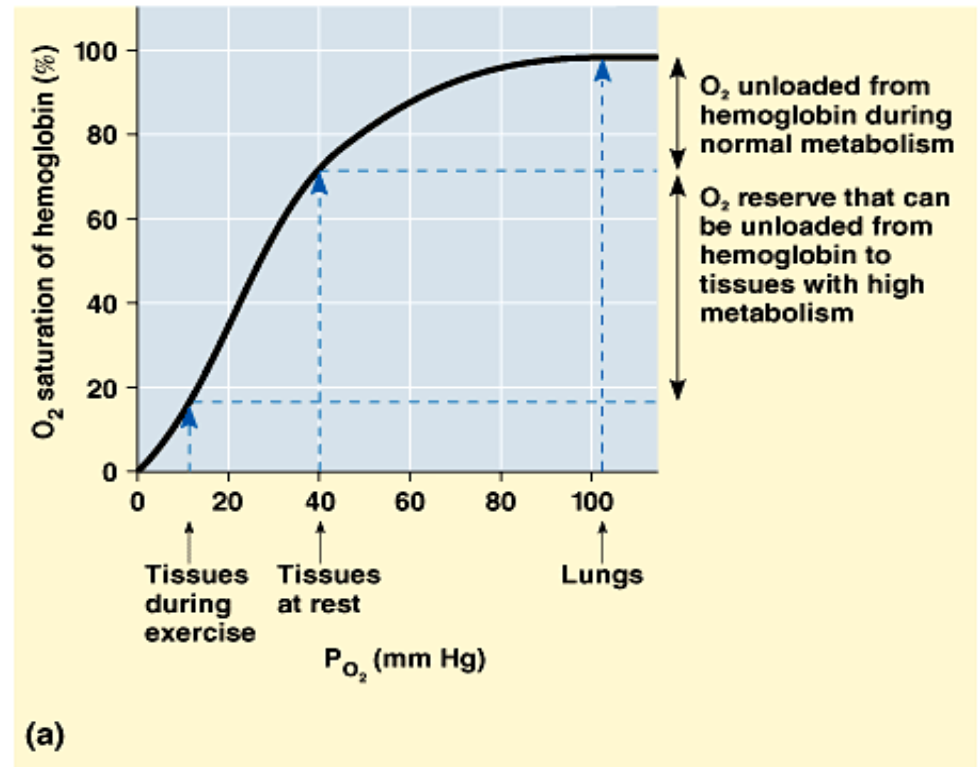


## *Газообмін і транспорт $O_2$*

- 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 Hb 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**



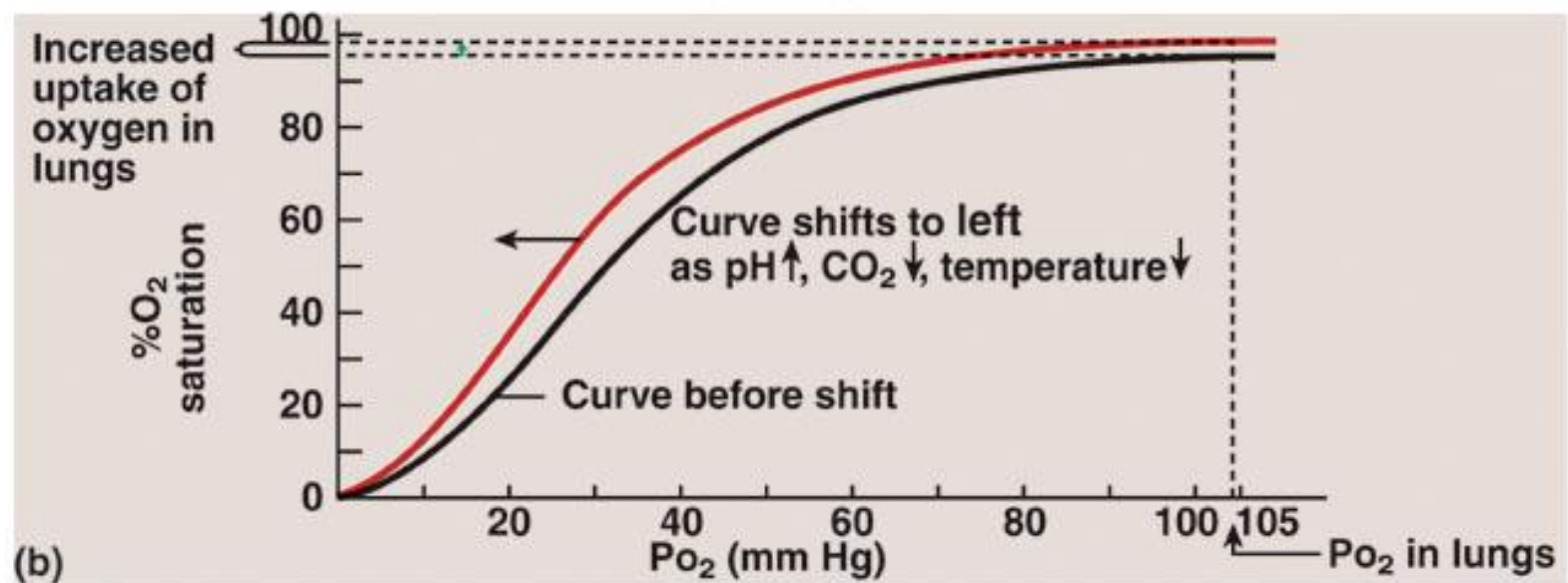
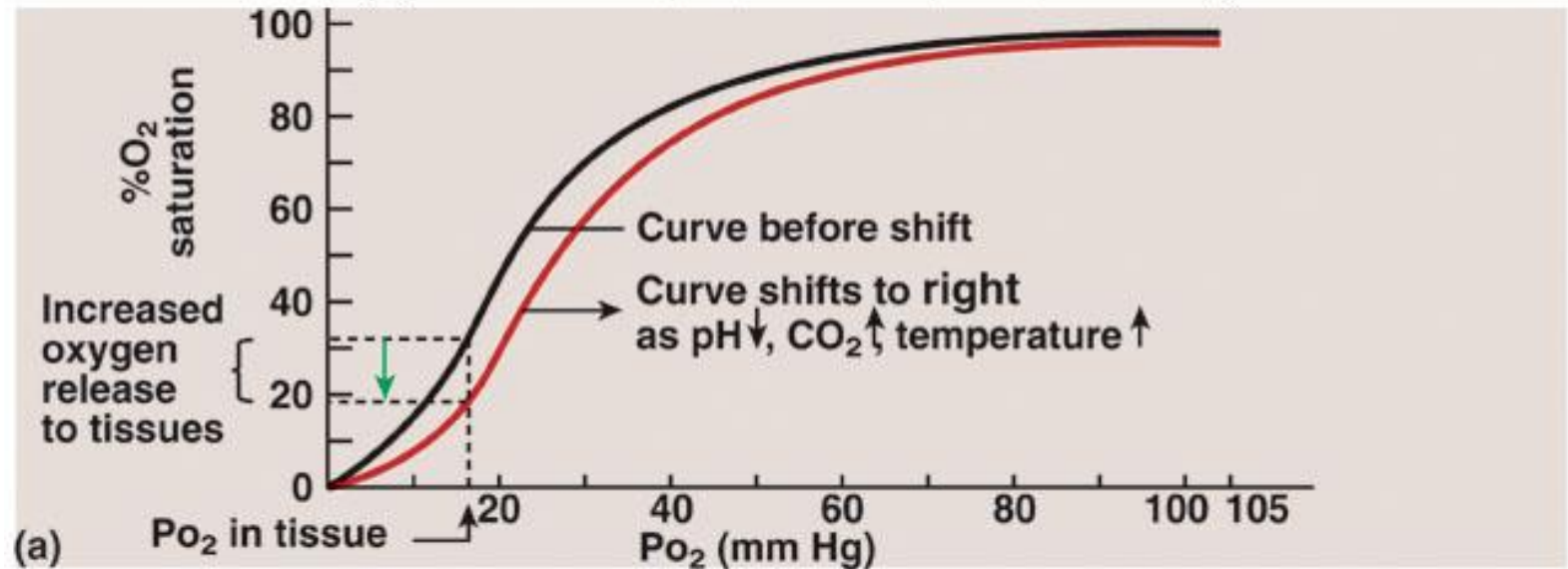
На спорідненість кисню до гемоглобіну впливають **метаболичні фактори**, що виражається у вигляді зрушень кривої дисоціації **вліво і вправо**

- 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*
- *CO<sub>2</sub> в крові підвищують спорідненість гемоглобіну до кисню в легеневих капілярах*

В умовах тканин ці ж чинники *знижують спорідненість гемоглобіну до O<sub>2</sub>* і сприяють переходу оксигемоглобіну в відновлену форму – *дезоксигемоглобін*

- В результаті O<sub>2</sub> по концентраційному градієнту надходить з крові тканинних капілярів в тканини організму

- Обмін O<sub>2</sub> між кров'ю і клітинами тканин здійснюється шляхом *дифузії*
- *концентраційний градієнт O<sub>2</sub> між артеріальною кров'ю (100 мм рт ст)*
- *і тканинами (40 мм рт ст) - 60 мм рт ст*

Зміни градієнта обумовлені вмістом O<sub>2</sub> в артеріальній крові і *коефіцієнтом утилізації O<sub>2</sub> (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*

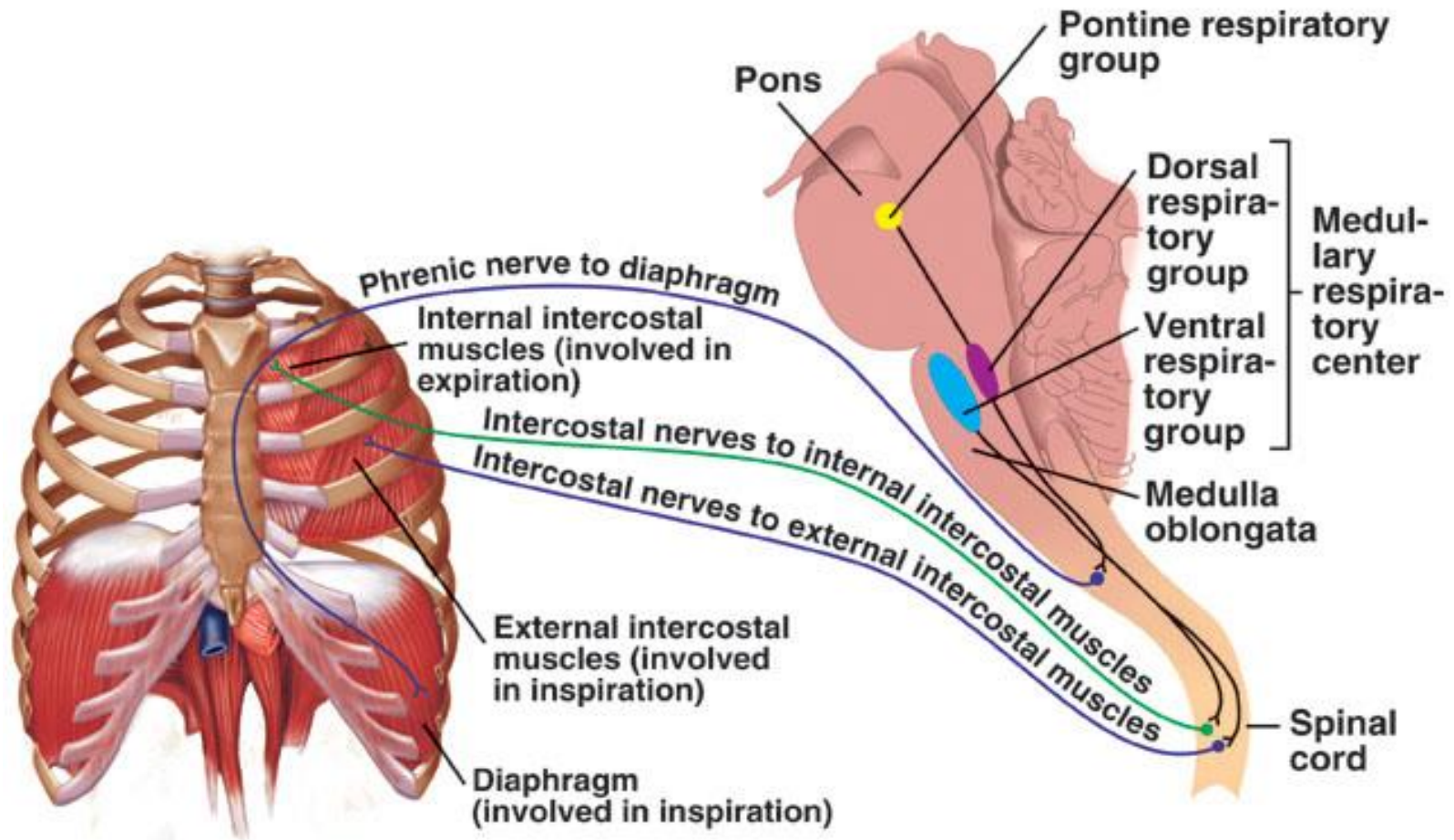
# Дихальний центр

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

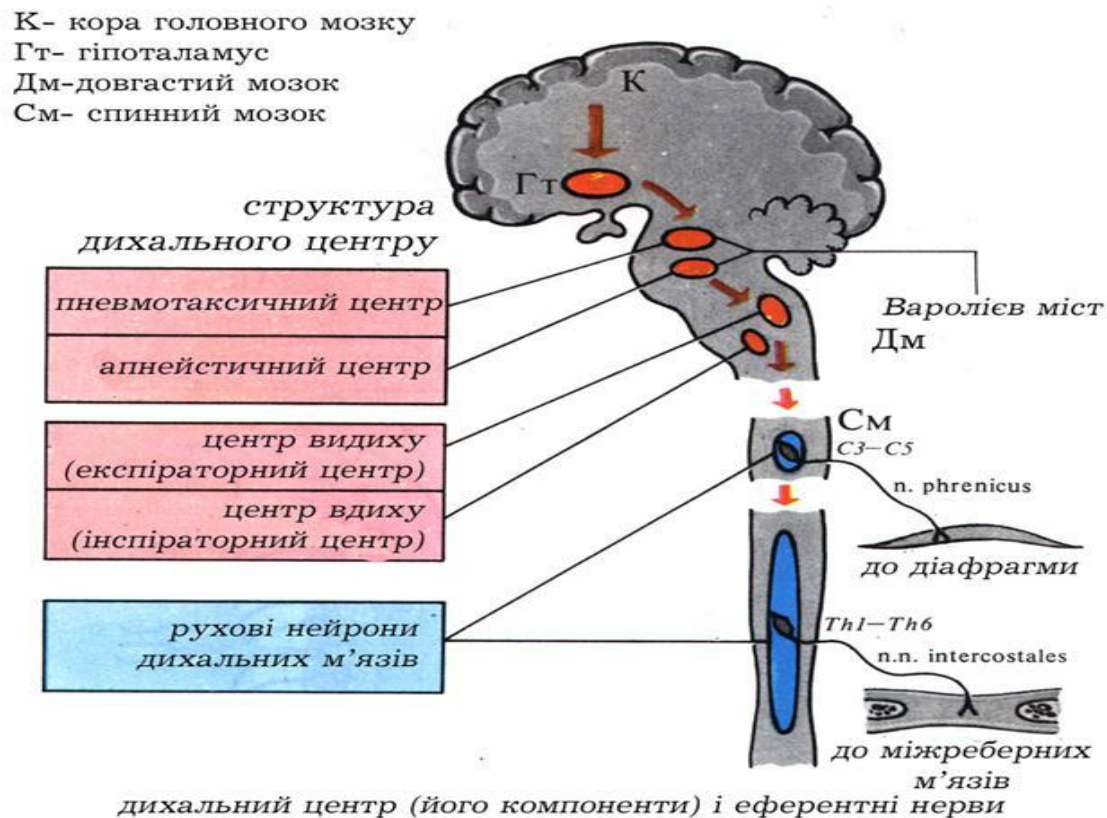
**регулювання дихання**

- (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  $CO_2$

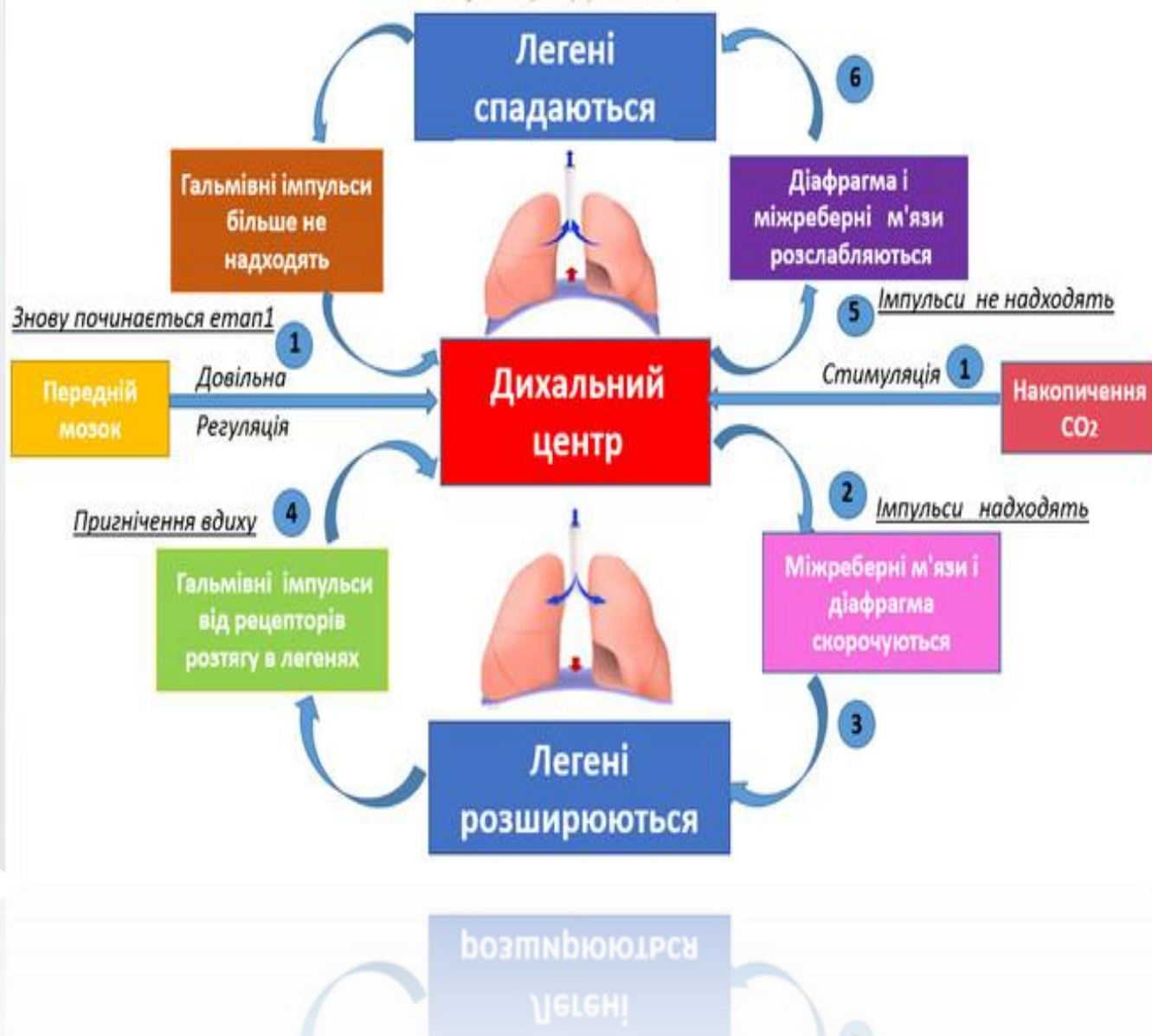
- **Рухова функція** реалізується генерацією дихального ритму і його патерну (тривалість вдиху і видиху, ДО, ХОД)
- **рухова функція:**
- адаптує дихання відповідно **до метаболічних потреб** організму
- і здійснює інтеграцію дихання з іншими функціями ЦНС
- **гомеостатична функція:**
- підтримує норму  $O_2$ ,  $CO_2$  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



## Регуляція дихання



## *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*



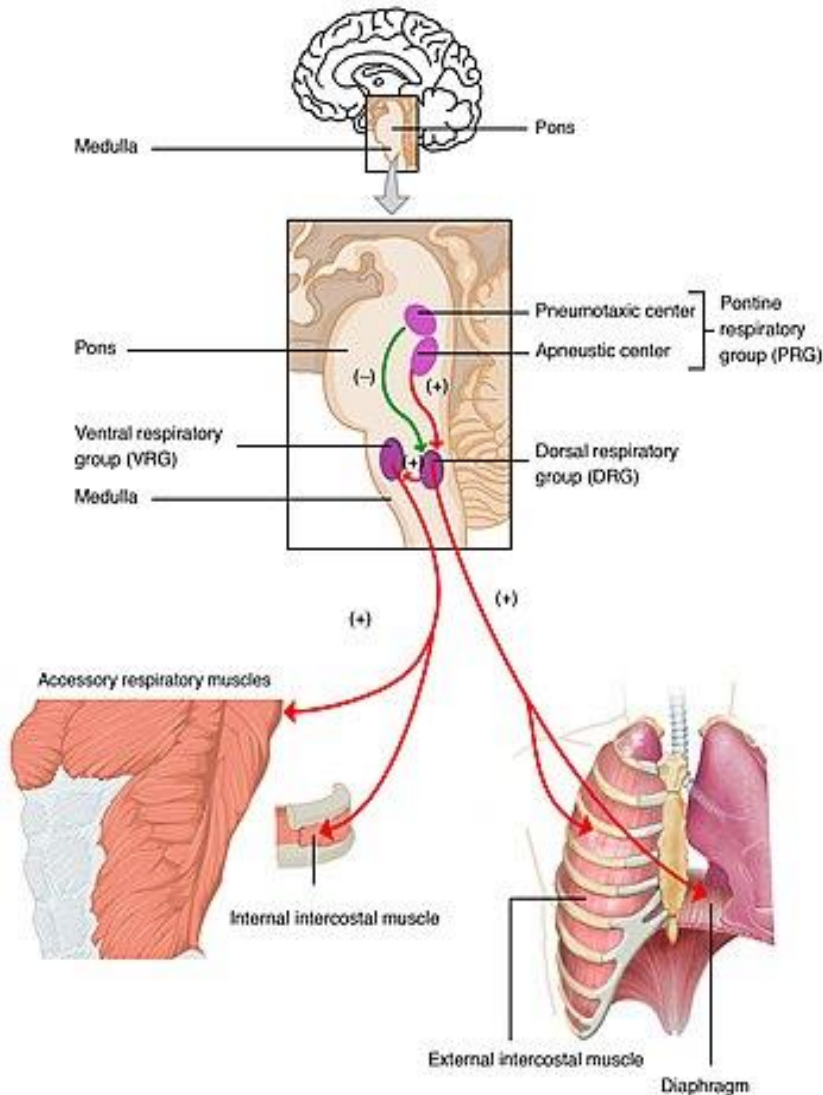
## *Робочий відділ ДЦ:*

- *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 тону гладких м'язів **повітроносних шляхів**, спостерігається
- в кінці видиху,
- мінімальна - в кінці вдиху

## ***Вищий відділ ДЦ:***

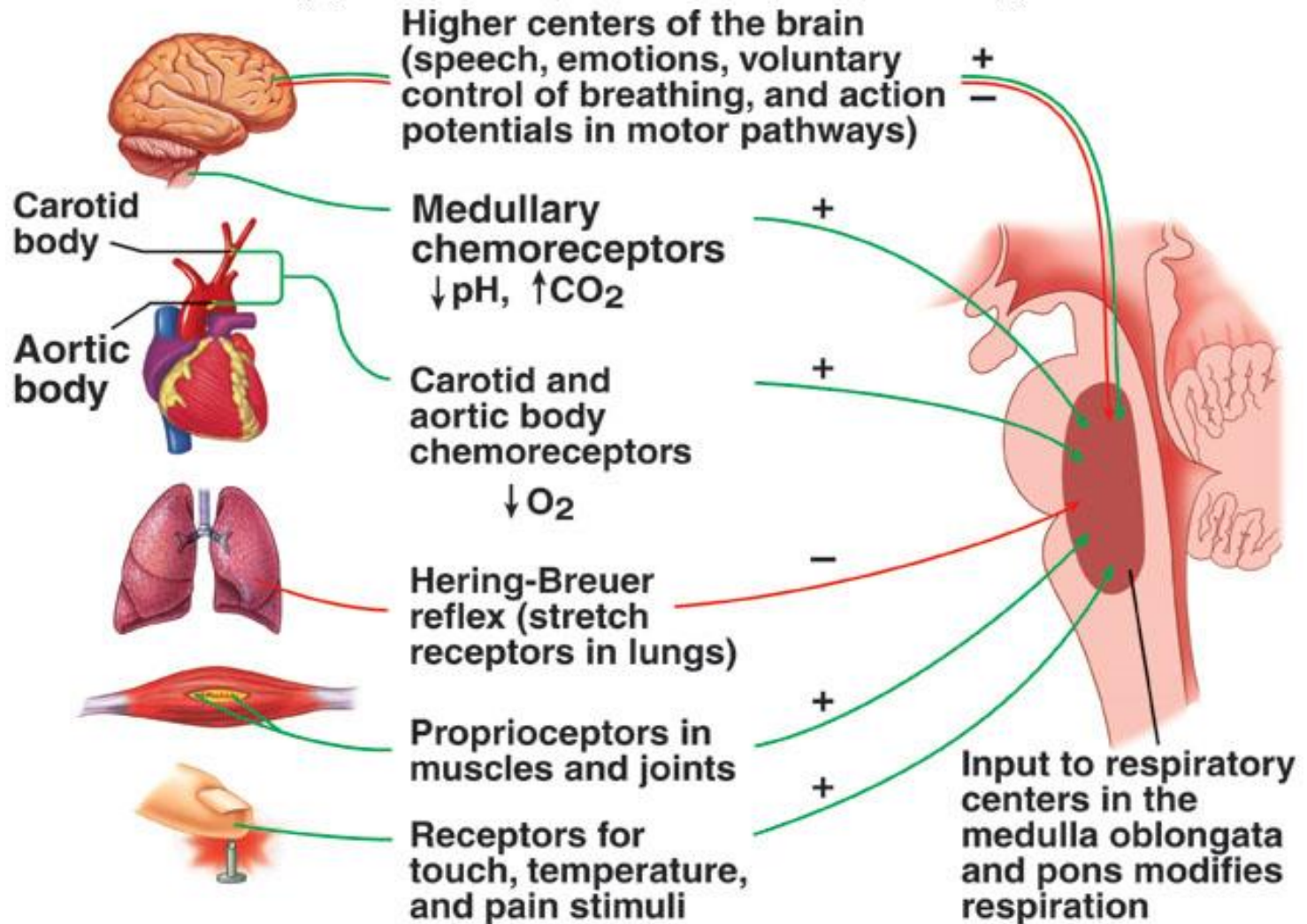
- ***тонке пристосування дихання до мінливих умов навколишнього середовища*** (проміжний мозок, гіпоталамус, кора великих півкуль)
- ***зв'язок з іншими вегетативними функціями*** (проміжний мозок, гіпоталамус і лімбічна система)
- зокрема:
- - при зміні обміну речовин і кровообігу,
- - при підвищенні температури тіла (5-6 дихальних рухів за хв при підвищенні  $t$  на  $1^{\circ}\text{C}$ ),
- - при афективних станах (лють, переляк),
- - при больовому подразненні,
- - при подразненні терморецепторів 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 легень 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!