



СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
МЕДИЧНИЙ ІНСТИТУТ  
КАФЕДРА ФІЗІОЛОГІЇ І ПАТОФІЗІОЛОГІЇ



Опорний конспект лекції з фізіології  
на тему:

# **Механізми газообміну в легенях. Транспорт газів кров'ю**

© Гарбузова В.Ю.

# Парціальний тиск газів

**Парціальний тиск газу** - це тиск, що створював би газ, якщо б один займав той об'єм, який займає газова суміш

Парціальний тиск газу в суміші прямопропорційний об'ємному вмісту цього газу та загальному тиску суміші.

	Атмосферне повітря	Альвеолярне повітря
$PO_2$	150 мм рт. ст.	100 мм рт. ст.
$PCO_2$	0,2 мм рт. ст.	40 мм рт. ст.

# Напруга газів

- Напруга газу – це тиск газу, розчиненого в рідині.
- Напруга – це сила, яка примушує газ виходити з рідини.

	<b>Артеріальна кров</b>	<b>Венозна кров</b>
<b>PO<sub>2</sub></b>	95 мм рт. ст.	40 мм рт. ст.
<b>PCO<sub>2</sub></b>	40 мм рт. ст.	46 мм рт. ст.

**Процес газообміну між вдихуваним повітрям і альвеолярним повітрям (альвеолярною газовою сумішшю), а також між альвеолярним повітрям і кров'ю визначається складом газів в указаних середовищах.**

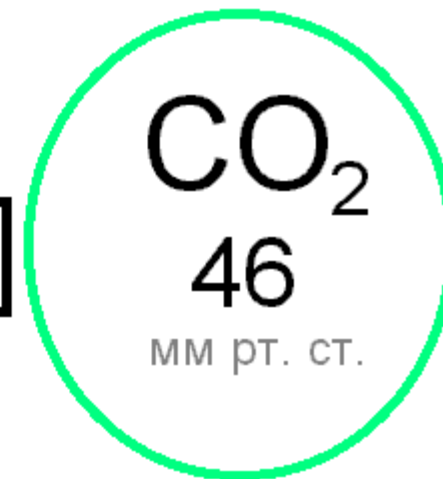
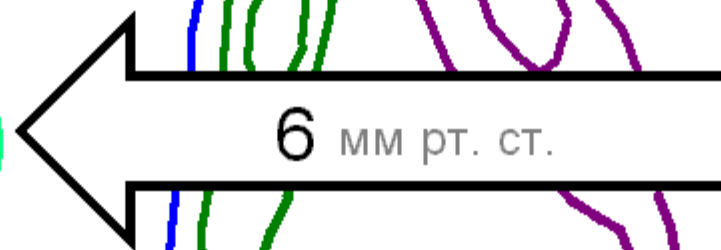
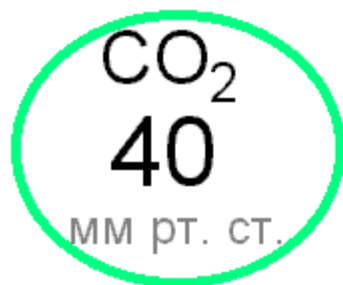
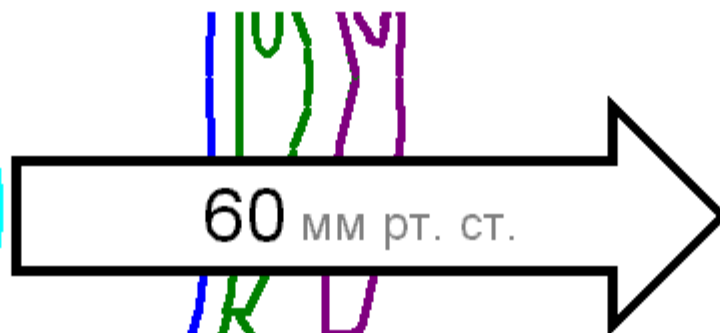
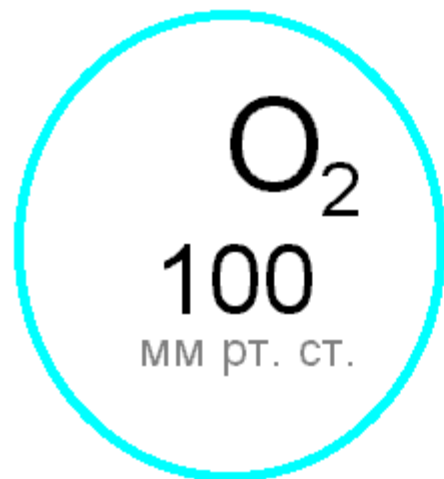
<b>Повітря</b>	<b>O<sub>2</sub>,%</b>	<b>CO<sub>2</sub>,%</b>	<b>N<sub>2</sub>, інертні гази%</b>
<b>Вдихуване (атм)</b>	20,9	0,03	79,07
<b>Видихуване</b>	16,0	4,5	79,5
<b>Альвеолярне</b>	14,0	5,6	80,4

Причиною різного газового складу атмосферного і видихуваного повітря є газообмін в легенях ( у результаті якого у повітрі зростає вміст CO<sub>2</sub> і зменшується вміст O<sub>2</sub>).

Причиною різного газового складу видихуваного і альвеолярного повітря є те, що видихуване повітря, крім альвеолярного повітря містить повітря із дихальних шляхів (мертвий простір), яке не брало участі у газообміні і за складом аналогічне атмосферному (у результаті у видихуваному повітрі більше O<sub>2</sub> і менше CO<sub>2</sub> ніж в альвеолярному).

АЛЬВЕОЛЯРНЫЙ ГАЗ

КРОВЬ



# Газообмін між вдихуваним повітрям і альвеолами

При розгалуженні бронхів відбувається спочатку поступове, а потім різке зростання сумарної площі поперечного перетину повітроносних шляхів (до 17 генерації бронхів -  $150 - 170 \text{ см}^3$ , з 17 по 19 -  $200 \text{ см}^3$ , з 20 по 23 -  $1300 \text{ см}^2$ ).

Рухаючись шляхом конвекції повітря досягне 17 генерації бронхів за 0,87 с, 20-ї – за 2,04 с, 23-ї – за 6,7 с. (вдих відбувається протягом 1,5-2 с)

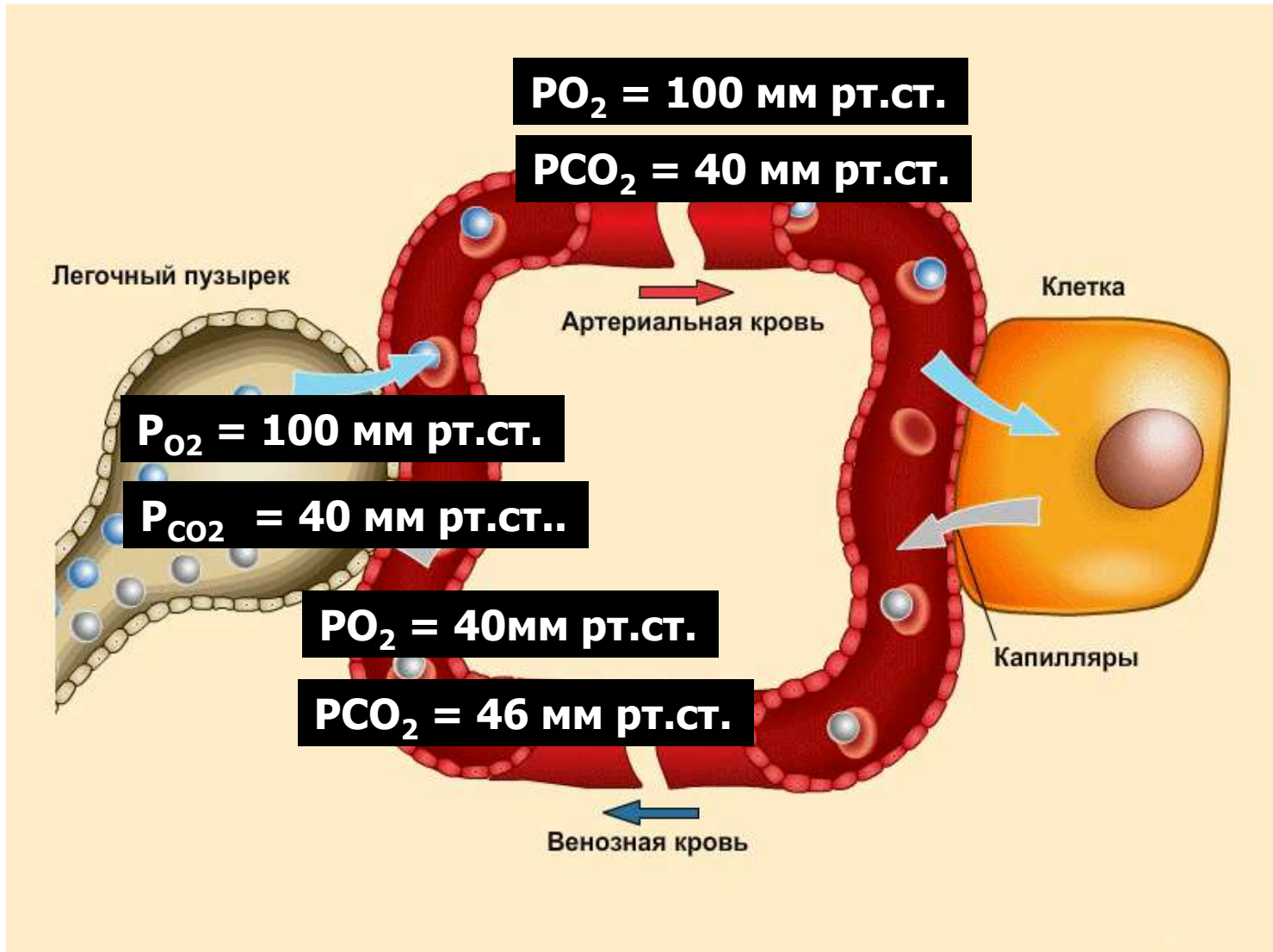
Починаючи з 17 генерації бронхів повітря рухається шляхом

- Конвекції

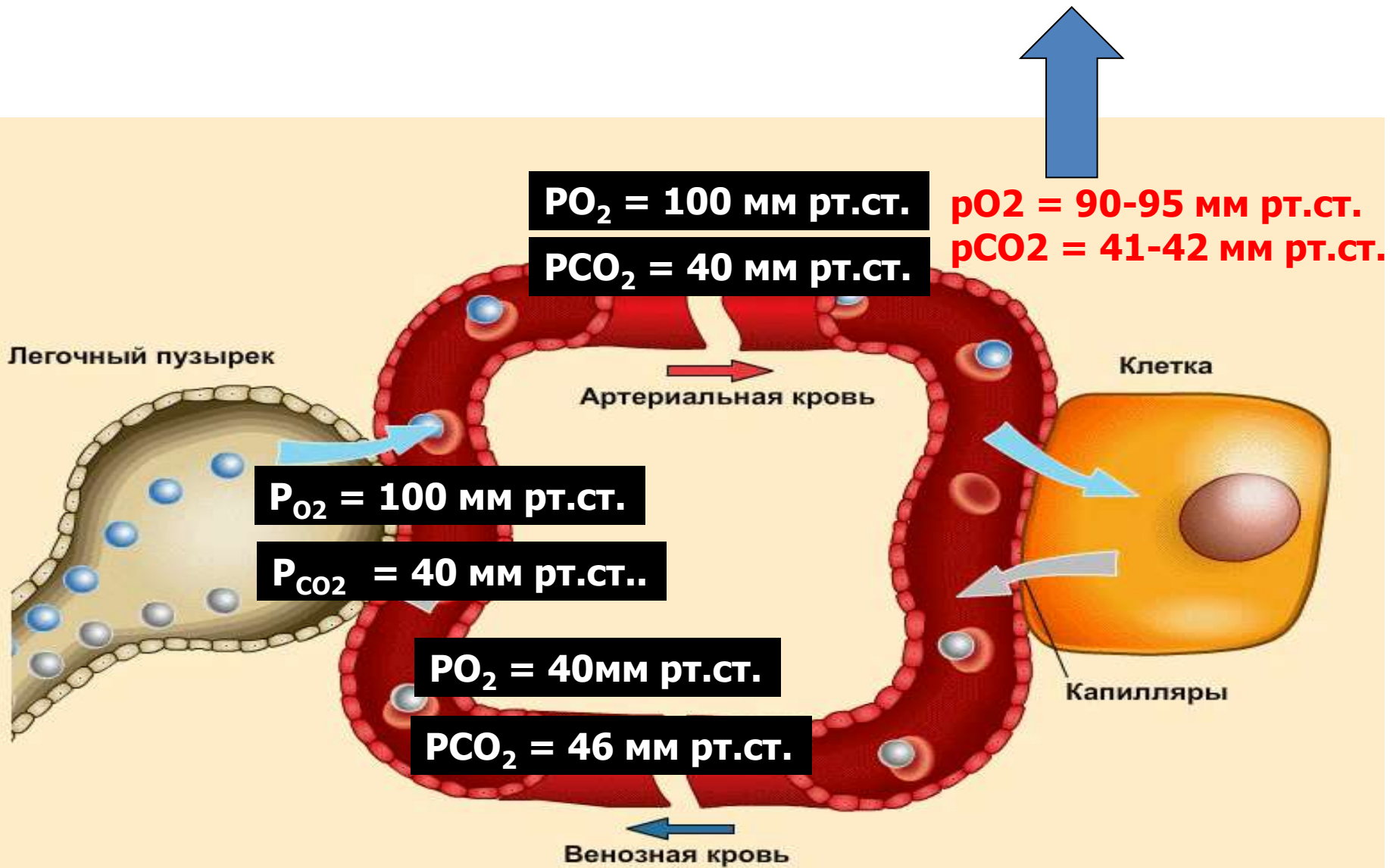
- Дифузії

Його рушійною силою є градієнт парціальних тисків між повітроносними шляхами і альвеолами

# Газообмін між альвеолами та кров'ю



# АЛЬВЕОЛО-АРТЕРИАЛЬНА РІЗНИЦЯ ТИСКІВ





# Причини альвеоло-артеріальної різниці тисків

1. *Наявність артеріо-венозних шунтів*, по яким в артеріальну кров надходить венозна. У якості таких шунтів виступають :

- вени Тебезія, по яким венозна кров від серця надходить у його ліві відділи;
- бронхіальні артеріо-венозні анастомози (судини, які забезпечують живлення бронхіального дерева і легень);
- капіляри, по яких рухається кров через альвеоли, що не вентилюються

2. *Нерівномірність вентиляції і перфузії у легенях:*

- ▶ у нормі вентиляційно-перфузійний коефіцієнт (ВПК) = 0,8-1 ;
- ▶ ВПК >1 в альвеолах, які вентилюються, але перфузія і газообмін не відбувається. Це так звані альвеоли мертвого простору;
- ▶ ВПК <1 в альвеолах, які перфузуються, але не вентилюються і газообмін в них не відбувається. Це альвеоли артеріо-венозного шунта.

Нормальне значення ВПК мають тільки альвеоли середніх сегментів легенів.

В інших сегментах спостерігається нерівномірність вентиляції або перфузії.

Нерівномірність вентиляції: краще вентилюються базальні сегменти легенів, менше – середні, найгірше – верхівки легенів. Причина нерівномірностей вентиляції пов'язана з існуванням апікально-базального градієнту плеврального тиску: плевральний тиск від верхівок до базальних сегментів альвеол зменшується (стає менш від'ємним). Тобто на верхівках Рпл. більше, ніж в базальних сегментах, значить транспульмональний тиск, - тиск що розтягує альвеолу, - на верхівці менший ( $P_{\text{транспул.}} = P_a - P_{\text{пл.}}$ ). А це значить, що під час вдиху об'єм верхівкових альвеол зростає в меншій мірі, ніж базальних.

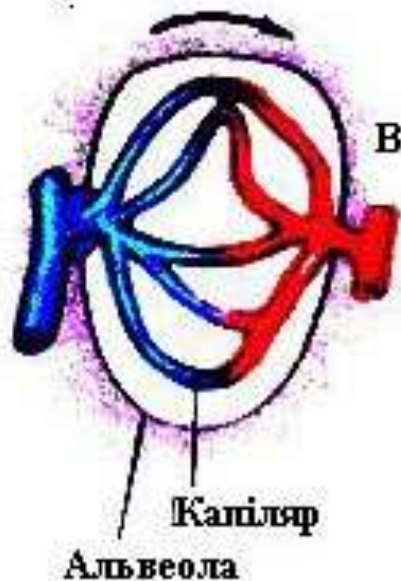
Нерівномірності перфузії: артеріальні судини легенів, як і венозні, мають високу розтяжність, тому кровоток в них значною мірою залежить від впливу фактору гравітації – від серця основна маса крові під впливом сили тяжіння спрямована до базальних сегментів легенів, менша до середніх і найменша до верхівки.

Ступінь нерівномірності вентиляції і кровотока різна! На верхівках легенів знижена і вентиляція і кровоток, але в більшій мірі знижений кровоток, тому  $\frac{AB}{Q} > 1$ , переважає вентиляція. У цих альвеолах вміст  $O_2$  зростає, вміст  $CO_2$  зменшується. Кров, яка відтікає від альвеол верхівок легенів має  $P_{O_2} > 100$  мм рт.ст., а  $P_{CO_2} < 40$  мм рт.ст.

У середніх сегментах легенів  $\frac{AB}{Q} = 0,8 - 1$ . Кров, яка від них відтікає має  $P_{O_2} = 100$  мм рт.ст.,  $P_{CO_2} = 40$  мм рт.ст.

У базальних сегментах легенів у більшій мірі знижена вентиляція, тому  $\frac{AB}{Q} < 1$ . У цих альвеолах вміст  $O_2$  зменшується, а вміст  $CO_2$  зростає. Кров, яка відтікає від базальних сегментів альвеол має  $P_{O_2} < 100$  мм рт.ст., а  $P_{CO_2} > 40$  мм рт.ст.

Артеріола



Венула

Капіляр  
Альвеола

Оксигенація крові



Капіляри, що  
спалися

Відсутність оксигенації

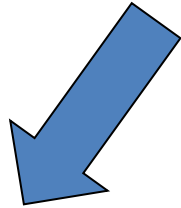


Альвеоли, що  
спалися

# Склад альвеоло-капілярної мембрани

1. Альвеолярний епітелій, рідина і сурфактант, що вкриває альвеолу, альвеолоцити та їх базальна мембрана.
2. Інтерстиціальна сполучна тканина між альвеолярним епітелієм і стінкою капіляра.
3. Стінка капіляра – базальна мембрана та ендотелій.
4. Шар плазми крові.
5. Мембрана та цитоплазма еритроцита.

# Форми транспорту кисню



**Фізично розчинений  
у плазмі крові**



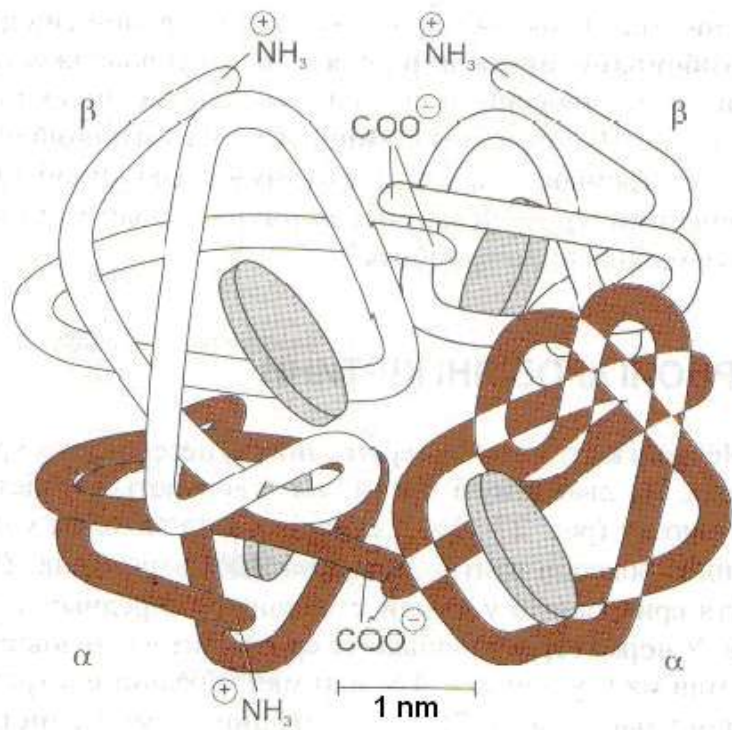
**Хімічно зв'язаний з  
гемоглобіном**

## Значення фізично розчиненого кисню

забезпечує дифузію  $O_2$  (при переході в кров чи із крові  $O_2$  обов'язково повинен перейти у фізично розчинений стан і тільки в такому вигляді може дифундувати);

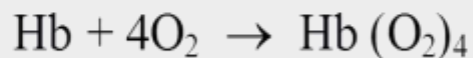
фізично розчинений кисень суттєво впливає на властивості гемоглобіну

# Хімічно зв'язаний кисень



Найбільша кількість  $O_2$  яка може бути зв'язана з Hb розраховується наступним чином.

Як відомо, Hb складається з 4 субодиниць, а значить 1 молекула Hb може приєднати 4 молекули  $O_2$ .



тобто 1 моль Hb зв'язує 4 моль  $O_2$

1 моль Hb = 64500 г

1 моль  $O_2$  (любого газу) = 22,4 л

64500 г Hb -- 22,4 \* 4 л  $O_2$

1 г Hb-- X

X = 1,39 мл  $O_2$

Теоретично розрахована величина (1,39) мл буде незначно відрізнятись від фактичної (1 г Hb, зв'язує не 1,39, а 1,34 мл  $O_2$ ). Це пов'язано з тим, що невелика кількість Hb знаходиться в неактивному стані і не зв'язує  $O_2$ .

Кількість  $O_2$  яка зв'язується 1 г Hb (1,34 мл) називається **числом Хюфнера**. Виходячи з числа Хюфнера можна знайти *кисневу ємність крові* (КЕК) - максимальний об'єм кисню, який зв'язується 1 л крові.

$$КЕК = 1,34 * Hb[г/л]$$

якщо Hb = 120 г/л, то

$$КЕК = 1,34 * 120 = 160 \text{ мл } O_2/\text{л крові}$$

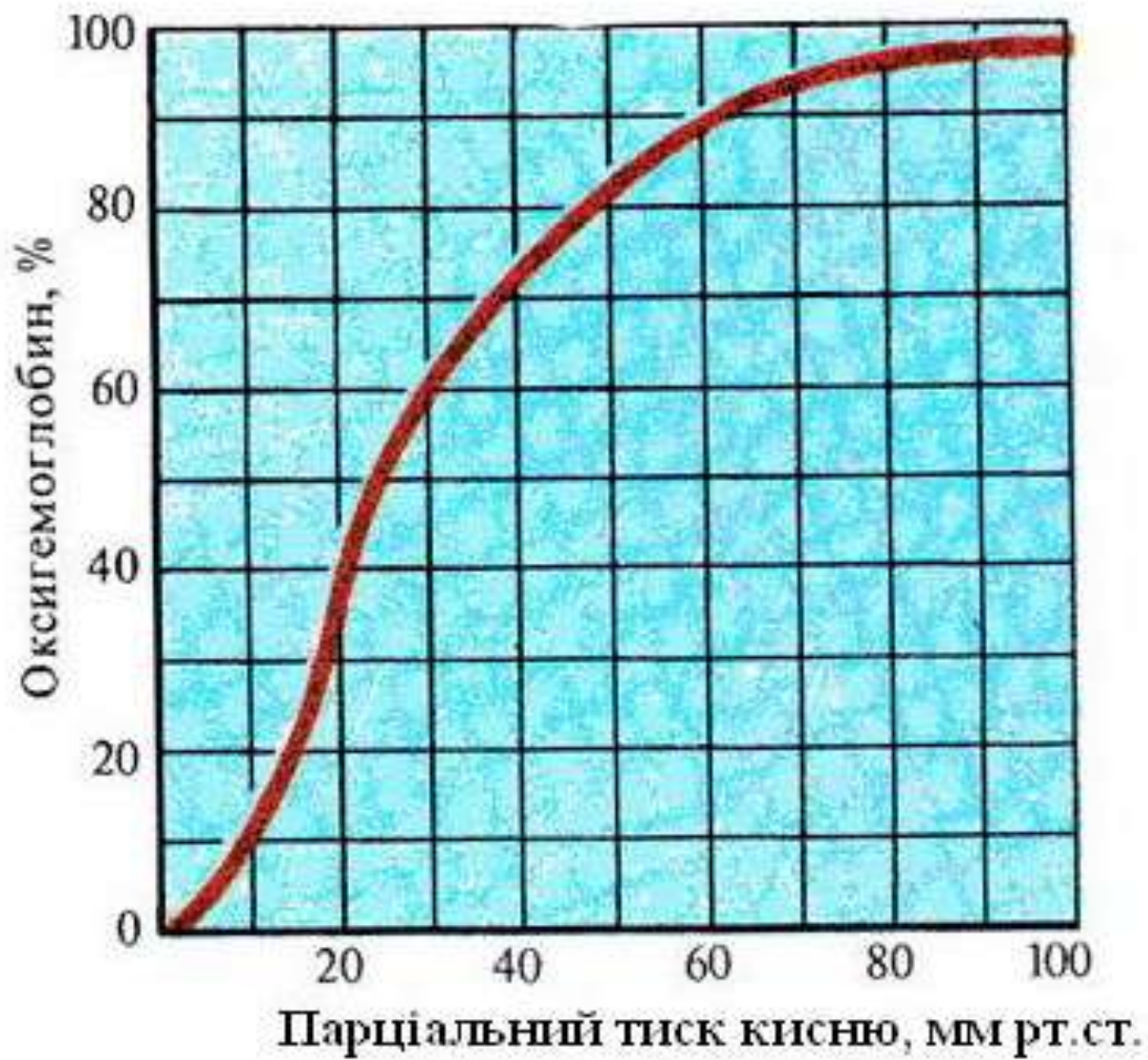
$$КЕК = 1,34 * 150 = 201 \text{ мл } O_2/\text{л крові}$$



# Крива дисоціації оксигемоглобіну

Крива характеризує залежність ступеня насичення гемоглобіну киснем від напруги  $O_2$  у крові.

*Насичення гемоглобіну киснем ( $S_{O_2}$ )* - це процентне співвідношення між оксигемоглобіном і загальним вмістом гемоглобіну.



Крива дисоціації має S-подібну форму. Така форма має велике значення точки зору переносу кисню кров'ю. Верхня полога частина кривої відображає процеси, які відбуваються у капілярах легенів. У легневих капілярах напруга  $O_2$  складає 95 мм рт. ст. При такій напрузі насичення Hb киснем 97%. За різних умов (при підйомі в гори, з віком, при захворюваннях легенів) напруга  $O_2$  в артеріальній крові може суттєво зменшуватись. Однак насичення Hb киснем залишається високим. Крива дисоціації Оксигемоглобін в своїй правій частині майже горизонтальна. У зв'язку з чим при досить значному зниженні напруги  $O_2$  у крові насичення Hb киснем зменшується несуттєво. Так, при падінні  $P_{O_2}$  до 60 мм рт.ст., ступінь насичення гемоглобіну киснем залишається на рівні 90%.

Середня ділянка кривої має крутий нахил, що свідчить про сприятливі умови для віддачі  $O_2$  тканинам. Навіть незначне зменшення  $P_{O_2}$  (внаслідок його використання) призводить до зменшення насичення гемоглобіну киснем, тобто викликає віддачу  $O_2$ . Таким чином, якщо кисень активно використовується тканинами і його кількість у венозній крові зменшується, він починає вивільнюватися із сполуки з Hb ( $Hb O_2 \rightarrow Hb + O_2$ ) і поповнювати кількість кисню в крові, який буде в подальшому використаний для процесів метаболізму.

Таким чином S - подібна форма кривої дисоціації оксигемоглобіну віддзеркалює компроміс між необхідністю активно зв'язувати кисень в атмосфері з високим парціальним тиском кисню ( $P_{O_2}$ ) (капіляри легенів) і легко його віддавати в середовищі з низькою напругою кисню (капіляри тканин)

