

БІОФІЗИЧНІ МЕХАНІЗМИ ДИХАННЯ

Березняк О.О.

Науковий керівник: Шейкіна Н.В.

Національний фармацевтичний університет, м. Харків, Україна

[*bereznaksany@gmail.com*](mailto:bereznaksany@gmail.com)

Вступ. Оскільки легені є одним з життєвих органів, то процеси які відбуваються саме в легенях, є одними із фундаментальних фізіологічних та біофізичних досліджень.

Мета. Дослідити процеси які відбуваються в легенях, тобто це дифузійні процеси обміну газами

Матеріали та методи. Дихання — це процес газообміну між організмом і середовищем його проживання, що супроводжується поглинанням кисню, виведенням вуглекислого газу і метаболічної води.

Органи дихання представлені носовою порожниною, глоткою, гортанню, бронхами і легенями.

Легені розташовані в грудній порожнині, обидвох боків серця, морфологічною і функціональною одиницю легенів є Ацинус. Ацинус починається респіраторними бронхіолами, що переходять у розгалуження альвеолярних проходів. В обох легенях нараховується близько 20.000 респіраторних бронхіол. Ацинуси відділенні один від одного тонкими сполучними прошарками; 12 – 18 ацинусів утворюють легеневу часточку.

Кожен альвеолярний хід закінчується двома альвеолярними мішечками. На стінках альвеолярних ходів і мішечків розташовуються декілька десятків альвеол. Альвеоли мають вигляд відкритого пухирця.

Внутрішня поверхня їх вистелена одношаровим плоским дихальним епітелієм, що знаходиться на базальній мембрані. Зовні до базальної мембрани прилягають кровоносні капіляри, що проходять по міжальвеолярних перетинках, а також мережа еластичних волокон, що облипають альвеоли. З причини, що альвеоли тісно прилягають одна до одної, то капіляри що обплітають їх, однією

своєю поверхнею граничить з однією альвеолою, а іншою поверхнею – із сусідньою це забезпечує оптимальні умови для обміну газів між повітрям, що міститься в альвеолах, і кров'ю, що протікає в капілярах. Загальна поверхня альвеол у людини при вдиху приблизно дорівнює 100-130м².

Процес дихання здійснюється в 5 етапів: зовнішнє дихання- обмін газів між атмосферним повітрям і повітрям легеневи альвеол(вентиляція легенів); обмін газів між альвеолярний повітрям і кров'ю легеневи капілярів; транспорт газів кров'ю, обмін газів між кров'ю і тканинами; внутрішнє чи тканинне дихання – споживання кисню клітинами та відділеннями вуглекислого газу.

Повітря складається: 16,3% кисню, вуглекислого газу 4%, азоту 79,7%

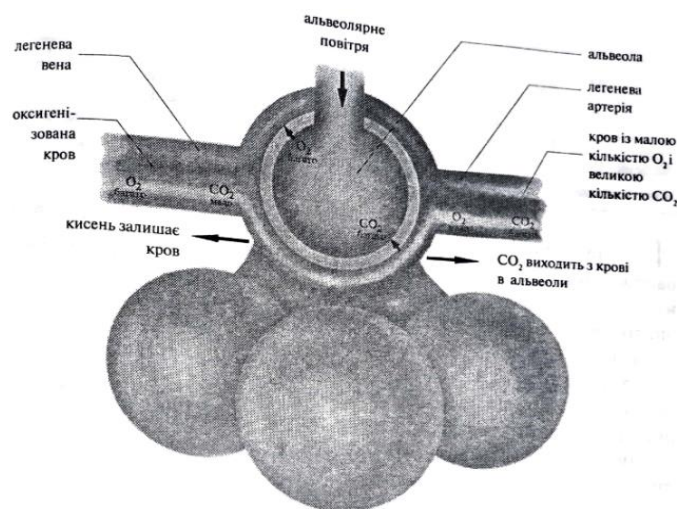


Рис. 1. Будова альвеол

Результати та обговорення. Рух через легеневу мембрану O₂ з альвеол у кров капілярів легень, а CO₂ – у зворотному напрямку обумовлений градієнтами концентрацій цих газів. Молекули газів рухаються з області високого парціального тиску в область низького, який в альвеолярному повітрі (P.) складає 100 мм рт. ст., а у венозній крові – 37 мм рт. ст. Різниця тисків у 63 мм рт. ст. зумовлює дифузію O₂ з альвеол у кров. Найбільш інтенсивна дифузія O₂ відбувається на початку капіляра, де найбільша різниця тисків. Зі зростанням парціального тиску O₂, у крові різниця концентрацій між альвеолярним повітрям і кров'ю знижується, і швидкість руху O₂ зменшується. Градієнт парціального тиску CO₂ протилежний за напрямком.

У венозній крові він складає 48 мм рт.ст., в альвеолярному повітрі – 40 мм рт.ст.. Різниця в 6 мм рт.ст. визначає дифузію CO₂ з капілярів в альвеоли. Площа дифузії газів визначає поверхню, у межах якої гази переходять у кров капілярів легень і відходять звідти в зворотному напрямку. Виходячи з того, що капілярна мережа в альвеол дуже розгалужена, можна вважати, що площа дифузії дорівнює площі альвеол, кількість яких складає близько 300 млн.

У нормі площа дифузії складає 50-100 м² і залежить від фізичних параметрів тіла, статі, віку, тренуваності дихальної системи. З огляду на малу зміну газового складу альвеолярного повітря, можна вважати, що головний ефект глибокого дихання визначається збільшенням площі дифузії газів. Дифузійна мембрана легень, чи альвеолярна-капілярна мембрана — це шлях, що переборює молекула газу з альвеолярної порожнини, щоб потрапити в еритроцит. Дифузійна мембрана в напрямку з альвеол має такі шари: сурфактант, епітелій альвеол, інтерстиціальний шар, ендотелій капілярів, плазма крові, мембрана еритроцита. Мала товщина альвеоло-капілярної мембрани і тісна взаємодія альвеол із кров'ю визначає високу дифузійну здатність легень.

Згідно з законом Фіка швидкість дифузії через мембрану описується рівнянням

$$\frac{dv}{dt} = Da(C_1 - C_2) \frac{S}{d}$$

де $\frac{dv}{dt}$ – швидкість дифузії, D – коефіцієнт дифузії, a – коефіцієнт поглинання газу, (C₁ – C₂) – різниця концентрації речовин з обох поверхонь мембрани, S – площа мембрани, d – товщина мембрани

Будова та функція гемоглобіну. Основні функції еритроцитів обумовлені наявністю в їх складі білка хромопротеїду – гемоглобіну. Маса гемоглобіну людини дорівнює 68 800. Гемоглобін складається з білкової (глобін) і залізовмісної (гем) частин; на одну молекулу глобіну припадає 4 молекули гема. У крові здорової людини вміст гемоглобіну складає 120-165 г/л (120-150 г/л у жінок, 130-160 г/л у чоловіків). У вагітних вміст гемоглобіну може знижуватися до 110 г/л.

Основні функції гемоглобіну: транспорт O_2 і CO_2 (дихальних газів), буфер, зв'язування токсичних речовин.

Гемоглобін людини і різних тварин має різну будову. Це стосується білкової частини – глобіну, а гем у всіх представників тваринного світу має одну і ту ж структуру. Гемоглобін складається з молекули порфірина, в центрі якої розташований іон Fe^{2+} , здатний приєднувати O^2 . Структура білкової частини гемоглобіну людини неоднорідна, завдяки чому білкова частина поділяється на ряд фракцій.

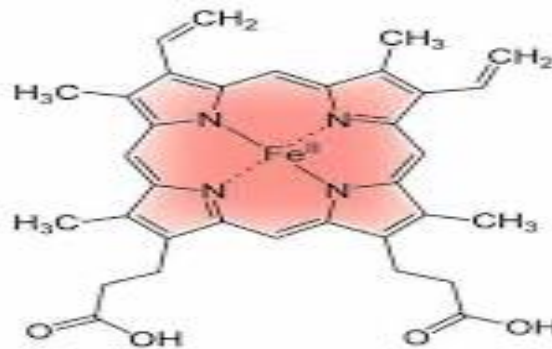


Рис. 2. Просторова структура гемоглобіну

Велика частина гемоглобіну дорослої людини (95-98%) складається з фракції **A** (від лат. *adultus* - дорослий); від 2 до 3% усього гемоглобіну припадає на фракцію **A2**; також в еритроцитах дорослої людини знаходиться так званий фетальний гемоглобін (від лат. *foetus*- плід), або гемоглобін **F**, зміст якого в нормі не перевищує 1-2%. Гемоглобіни **A** і **A2** виявляють практично в усіх еритроцитах, тоді як гемоглобін **F** присутній в них не завжди.

Гемоглобін **F** міститься переважно у плода. До моменту народження дитини на його частку припадає 70-90%. Гемоглобін **F** має більшу спорідненість до O_2 , ніж гемоглобін **A**, що дозволяє тканинам плоду не відчувати гіпоксії, незважаючи на низьку напругу кисню в його крові. Ця пристосувальна реакція пояснюється тим, що гемоглобін **F** важче вступає в зв'язок з 2,3-дифосфогліцериновою кислотою, яка зменшує здатність гемоглобіну переходити в оксигемоглобін, а отже, і забезпечувати легку віддачу O_2 тканинам. Крім так

званих нормальних, існують більше 300 аномальних гемоглобінів, що зустрічаються при різних захворюваннях системи крові. Всі вони відрізняються один від одного будовою глобіну.

Транспорт газів кров'ю здійснює система кровообігу, а транспортним засобом, що переносить їх від легень до тканини і навпаки, є кров, де гази можуть знаходитися в розчиненому стані й хімічному зв'язку.

Транспорт CO_2 здійснюється за допомогою 4-х механізмів. Фізичне розчинення CO_2 у плазмі відіграє значну роль, враховуючи високу розчинність газу, що складає 0,6-0,7 мл O_2 /л. Завдяки фізичному розчиненню транспортується 5% CO_2 , 95% переноситься у зв'язаному стані.

CO_2 , що утворюється в тканинах, проникає шляхом дифузії в кров, де, з'єднуючись з водою, утворює вугільну кислоту. Кислота далі дисоціює, з утворенням іона бікарбонату і H^+ . У плазмі крові іон бікарбонату зв'язується з білками плазми: $\text{Na} + \text{H}_2\text{CO}_3 = \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2$.

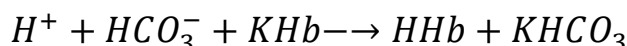
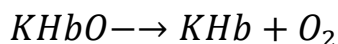
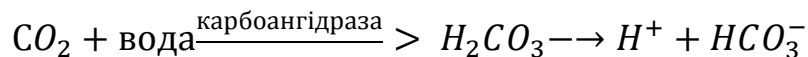
У результаті утворюється гідрокарбонат Na , який у легенях дисоціює



CO_2 виходить в альвеоли.

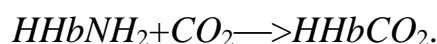
В еритроцитах міститься HbO_2 , який, маючи слабо кисле середовище, зв'язаний з іонами K^+ . У ділянках, де концентрація CO_2 досить висока, KHbO_2 легко дисоціює на O_2 і на KHb .

Надалі KHb_2 , легко втрачає K^+ і приймає від вугільної кислоти H^+ , утворюючи гемоглобінові кислоти (Hb). У свою чергу K^+ зв'язується з іонами бікарбонату, утворюючи гідрокарбонат калію. Цей процес каталізує вугільний ангідрид (карбогідраза)



Приєднуючи H^+ гемоглобін діє як буферна система. Тому велика кількість CO_2 може переноситися до легень без значних змін рН.

Другий механізм зв'язування CO_2 в еритроциті визначається гемоглобіном. CO_2 приєднується до гемоглобіну, утворюючи карбогемоглобін.



Відзначимо, що коли іони HCO_3^- залишають еритроцити, іони H^+ , які залишилися в ньому в надлишку, знижують рН, підсилюючи дисоціацію калієвої солі оксигемоглобіну $KHbO_2$ на кисень і KHb . У легенях відбуваються зворотній процес.

Висновки. Процес дихання – це найважливіший із процесів, які відбуваються в організмі людини, тварин та рослин. Взагалі в живому організмі цей процес відбувається на деяких рівнях, це може бути дихання в легенях, обмін газу в клітинах, і взагалі клітинне дихання в якому утворюється АТФ.