

ЛЬВІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ФІЗИЧНОЇ КУЛЬТУРИ
імені Івана Боберського

КАФЕДРА АНАТОМІЇ ТА ФІЗІОЛОГІЇ
“Нормальна фізіологія людини”

ЛЕКЦІЯ № 12

Тема лекції:
ФІЗІОЛОГІЯ ДИХАННЯ

План.

1. Зовнішнє дихання, його показники та методи дослідження.
2. Обмін газів у легенях. Транспорт газів кров'ю. Газообмін у тканинах.
3. Регуляція дихання. Дихальний центр.
4. Особливість дихання при фізичних навантаженнях.

Тривалість лекції: 2 академічні години

Матеріальне забезпечення: мультимедійна презентація.

Склав: доц. Вовканич Л.С.
Затверджено на засіданні
кафедри анатомії і фізіології
"15" серпня 2024 р.
протокол № 1
Зав. кафедри Вовканич Л.С.

1. Зовнішнє дихання та його показники та методи дослідження.

Дихання - це сукупність процесів, що забезпечують споживання організмом кисню та виділення ним вуглекислого газу.

Обмін газів між організмом і оточуючим середовищем здійснюється шляхом складної взаємодії системи дихання, крові, серцево-судинної системи. У ссавців і людини головну роль у зовнішньому диханні відіграють органи дихання – легені та повітроносні шляхи.

Атмосферне повітря через систему повітроносних шляхів – ніс, глотку, гортань, трахею, надходить у правий і лівий бронхи, що галузяться (23 порядки) у тканині легень. *Легені* – це парний орган, що мають губчасту будову і складаються із системи бронхів, бронхіол та легневих міхурців - *альвеол*. Тоненькі стінки альвеол знаходяться в дуже тісному контакті з кровоносними капілярами. Саме в альвеолах відбуваються процеси газообміну між повітрям і кров'ю. Оновлення повітря в альвеолах відбувається в процесі вдиху та видиху в результаті скорочення дихальних м'язів. Важливе значення при цьому має герметична *плевральна порожнина* між вісцеральним (покриває легені) та парієтальним (покриває зсередини грудну клітку) листками плеври, яка в нормі заповнена невеликою кількістю рідини. Для проходження вдиху та видиху важливою є також така властивість, як *еластична тяга легень*. У нормі у легенях людини наявна постійна тяга, спрямована на стискання легень. Внаслідок цього у плевральній порожнині тиск нижчий за атмосферний, і лише герметичність плевральної порожнини і відсутність у ній повітря не дає легеням спастися. Легені новонародженого мають світло-рожеве забарвлення. У дорослих вони відрізняються наявністю темних смуг, що являють собою частки бруду та кіптяви. Легені відіграють роль фільтру, накопичуючи речовини, які забруднюють повітря – механічні частинки, пил, смоли і ін. Крім функції газообміну (поглинання кисню та видалення вуглекислого газу) легені беруть участь у підтриманні сталого рН крові, можуть виводити з організму ефірні

масла, ароматичні речовини, ацетон і т.д. Вони впливають на кількість води в організмі, оскільки через легені випаровується близько 0,5 л води на добу, а при підвищеній температурі та прискореному диханні в екстремальних умовах - навіть до 10 літрів. Дихальні шляхи людини мають важливе комунікативне значення, оскільки беруть участь у артикуляції та прояві емоцій (плач, сміх, крик).

Дихання людини і вищих тварин включає наступні *етапи*:

1. обмін повітря між зовнішнім середовищем і альвеолами легень (зовнішнє дихання або вентиляція легень);
2. обмін газів між альвеолярним повітрям і кров'ю капілярів легень (дифузія газів в легенях);
3. транспорт газів кров'ю;
4. обмін газів між кров'ю та тканинами в тканинних капілярах (дифузія газів в тканинах);
5. споживання кисню клітинами і виділення вуглекислоти (внутрішнє або клітинне дихання).

Фізіологія вивчає перші чотири групи процесів, механізми їх регуляції та особливості протікання в різних умовах. Клітинне дихання вивчається в основному біохімією.

Вентиляція альвеол, що необхідна для газообміну, здійснюється завдяки чергуванню вдиху (інспірація) та видиху (експірація). Рух повітря під час вдиху і видиху зумовлений позмінним збільшенням і зменшенням розмірів грудної клітки. Легені в акті дихання відіграють пасивну роль. Вони не можуть розширюватись і стискатись активно, бо в них нема м'язів. Активну роль в акті дихання відіграють дихальні м'язи, які змінюють розміри грудної клітки.

При цьому м'язи, які здійснюють дихання, поділяються на *інспіраторні* (забезпечують збільшення об'єму грудної порожнини) та *експіраторні* (зменшують об'єм грудної порожнини).

До основних інспіраторних м'язів належать *діафрагма* та *зовнішні міжреберні м'язи*. Вдих відбувається внаслідок *підняття ребер* та *сплющення (опускання) діафрагми*. В залежності від того чи зв'язане розширення грудної клітки переважно з підняттям ребер, чи сплющенням діафрагми, розрізняють два *типи дихання: реберний (грудний) і черевний*. Показано, що тип дихання в більшій мірі залежить від віку (з віком рухливість грудної клітки зменшується), одягу (тісні корсажі перешкоджають черевному диханню) і професії (в осіб, що займаються фізичною працею, переважає черевний тип дихання), фізіологічного стану організму (черевне дихання утруднюється в останні місяці вагітності). Більш ефективним є черевний тип, оскільки при такому диханні глибше вентилуються легені і полегшується венозний відтік від черевної порожнини до серця. В умовах спокійного дихання видих здійснюється пасивно за рахунок еластичності тканини легень. Роль експіраторних м'язів можуть відігравати *внутрішні міжреберні м'язи*.

У випадку, коли необхідно підсилити діяльність дихального апарату - зокрема, при утрудненому диханні, що супроводжується суб'єктивним відчуттям задишки (*диспноє*) – акт вдиху і видиху форсується за участю *додаткових дихальних м'язів*. До додаткових інспіраторних м'язів належать всі м'язи, що кріпляться до кісток плечового поясу, черепа або хребта і здатні піднімати ребра. Найважливіші з них - це *великі та малі грудні, драбинчасті, грудинно-ключично-сосковидні і, частково, зубчасті м'язи*. До найважливіших допоміжних експіраторних м'язів відносяться *м'язи живота*, під дією яких ребра опускаються, а органи черевної порожнини стискаються і зміщуються вгору разом з діафрагмою.

Збільшення об'єму грудної клітки під час вдиху супроводжується збільшенням об'єму легень, хоча вони і не зрощені між собою. Це відбувається тому, що під час збільшення об'єму грудної порожнини при скороченні інспіраторних м'язів відбувається збільшення негативного тиску у плевральній порожнині, що призводить до розтягування тканини легень. В

результаті розтягування легень тиск у них падає нижче за атмосферний і повітря надходить у легені. Таким чином, причиною надходження повітря в легені є зниження в них тиску внаслідок збільшення об'єму грудної порожнини.

Після розслаблення інспіраторних м'язів під впливом еластичної тяги легень (еластичні властивості легеневої тканини та тонус бронхіальних м'язів) вони повертаються у вихідний стан. Зменшення об'єму призводить до перевищення тиску у легенях рівня атмосферного та виходу із них повітря. Отже, причиною виходу повітря з легенів є підвищення в них тиску, що виникає в результаті зменшення розмірів грудної клітки.

Таким чином, *дихальний цикл* включає дві фази – вдих і видих. Як правило, вдих на 30% коротший, ніж видих. В процесі роботи дихальні м'язи виконують роботу, спрямовану на подолання еластичного опору легень та опору руху повітря у повітроносних шляхах. У стані спокою ця робота становить 2-3% від загальних енерговитрат, а при фізичному навантаженні може становити до 10% від сумарної витрати енергії. Силу дихальних м'язів оцінюють за максимальною швидкістю вдиху і видиху, яку реєструють *пневмотахометром*

Сумарний об'єм повітря, який можуть вмістити легені при максимальному вдиху, називається загальною ємністю легенів (ЗЄЛ). Величина загальної ємності легенів становить приблизно 5400 мл і незначно зменшується при фізичній роботі. В загальній ємності легенів можна виділити чотири складові компоненти: *дихальний об'єм, резервний об'єм вдиху, резервний об'єм видиху і залишковий об'єм*.

Об'єм повітря, що видихається протягом одного дихального циклу, називається дихальним об'ємом (ДО). При спокійному диханні у дорослої людини він становить від 300 до 800 мл, при м'язовій роботі він може сягати 1-2 л і більше. Однак не увесь дихальний об'єм надходить в альвеоли. Частина повітря залишається в ротовій порожнині, носоглотці, гортані, трахеї та бронхах. Ця частина дихальних шляхів, де не відбувається газообміну між

повітрям і кров'ю, називається мертвим простором. Його величина у дорослої людини складає 140-160 мл.

Зростання дихального об'єму можливе за рахунок резервних об'ємів. Резервний об'єм вдиху (РОВд) - це об'єм повітря, який можна додатково вдихнути після звичайного вдиху. Його величина становить приблизно 2500 мл у стані спокою, а при фізичному навантаженні - зменшується.

Резервний об'єм видиху (РОВид) - це об'єм повітря, яке можна додатково видихнути після звичайного видиху. Його величина у стані спокою становить приблизно 1200 мл і дещо зменшується при фізичній роботі.

Залишковим (ЗО) називається об'єм повітря, що залишається в легенях після максимального видиху. Його величина становить приблизно 1-2 л.

Сума дихального повітря, резервного об'єму вдиху і резервного об'єму видиху складає життєву ємність легень (ЖЄЛ). ЖЄЛ залежить від ступеня тренуваності. У осіб, що займаються видами спорту на витривалість, ЖЄЛ значно вища, ніж у нетренованих людей. Особливо велика ЖЄЛ у плавців і гребців (до 8 л), оскільки у цих спортсменів добре розвинуті допоміжні дихальні м'язи (великі і малі грудні).

ЖЄЛ та її складові частини вимірюють з допомогою спірометра. Запис дихання у часі називається спірограмою і виконується з допомогою спірографа. Отримані дані порівнюють з так званими належними величинами, визначеними за номограмою або спеціальними таблицями. Відхилення ЖЄЛ в межах $\pm 20\%$ від належної величини не є суттєвими.

Для газообміну між організмом і атмосферним повітрям важливе значення має вентиляція легень, що забезпечує оновлення повітря в альвеолах. Кількісним показником легеневої вентиляції служить хвилинний об'єм дихання (ХОД) - кількість повітря, що вдихається або видихається протягом 1 хвилини. ХОД дорівнює добутку дихального об'єму (ДО) на частоту дихання (ЧД). Обидва ці показники дуже змінюються у залежності від потреб організму і значно зростають при м'язовій роботі.

У спокої доросла людина робить в середньому 16-20 дихальних рухів у хвилину. *Частота дихання* залежить від ряду факторів, зокрема віку, статі, тренуваності, потужності виконуваної роботи. У новонароджених дітей частота дихання у спокої 40-60 в хвилину. З віком частота дихання постійно зменшується. Перед періодом статевого розвитку частота дихання у дівчат стає більшою, ніж у хлопців і в такому співвідношенні зберігається протягом всього життя. При стоянні частота дихальних рухів більша, ніж під час сидіння чи лежання. М'язова робота, емоції, підвищення температури зовнішнього середовища, травлення прискорюють та поглиблюють дихання. Під час сну дихання стає більш рідким (приблизно на 1/5).

Дихальний об'єм при спокійному диханні у дорослої людини становить від 300 до 800 мл, при м'язовій роботі він може сягати 1-2 л і більше. Тому в умовах спокою легенева вентиляція сильно знаходиться в межах від 4 до 15 л/хв. ХОД залежить від розмірів тіла, статі, і ін. В чоловіків він більший, ніж у жінок. ХОД значно зростає при фізичному навантаженні. Легенева вентиляція при максимальній аеробній роботі може в 20-25 разів перевищити рівень спокою і становити 100-120 л/хв. Подальше зростання обмежується біомеханічними факторами та енергетичними затратами дихальних м'язів.

ХОД визначають за допомогою *мішка Дугласа*, у який збирають повітря під час дихання. Об'єм зібраного повітря визначають з допомогою газових лічильників.

2. Обмін газів у легенях. Транспорт газів кров'ю. Газообмін у тканинах.

В результаті безперервної вентиляції у легені надходить атмосферне повітря, яке, змішуючись із уже наявним в легенях, формує *альвеолярне повітря*. Склад альвеолярного повітря, а саме *парціальний тиск* кисню і вуглекислого газу, відіграє вирішальну роль у газообміні. Парціальний тиск газу - це частина загального тиску газової суміші, яка припадає на долю того чи іншого газу в газовій суміші. За законом Дальтона, парціальний тиск

кожного газу в суміші пропорційний до його об'ємного вмісту. Саме різниця парціальних тисків кисню і вуглекислого газу є рушійною силою їх дифузії з області з більш високим парціальним тиском даного газу в область з більш низьким його тиском.

Повітря	Кисень (%/п.тиск)	Вуглекислий газ	Азот
Вдихається	20,94/159	0,03/0,2	79,03
Видихається	16,30/126	4,00/28	79,70
Альвеолярне	14,40/103	5,60/40	80,00

Парціальний тиск кисню в альвеолах (100 мм рт.ст.), значно вищий, ніж венозній крові, що поступає в капіляри легенів (40 мм рт.ст.). Тому кисень дифундує з альвеолярного повітря у кров. Градієнт парціального тиску для вуглекислого газу спрямований у зворотній бік (46 мм рт.ст. на початку легеневих капілярів, 40 мм рт.ст. в альвеолах), внаслідок чого вуглекислий газу легенях переходить з крові в альвеолярне повітря. Дифузія газів проходить дуже швидко. В умовах спокою кожна порція крові проходить через капіляр приблизно за 0,8 с. Цього часу цілком досить для врівноваження тисків газів.

При м'язовій роботі проходить ріст швидкості кровообігу. Час перебування крові в альвеолярних капілярах знижується до 0,30 с. Проте одночасно спостерігається зростання градієнтів парціального тиску O_2 і CO_2 , що забезпечує достатній газообмін. Парціальний тиск O_2 в артеріальній крові, що відтікає від альвеол залишається практично таким самим, як і у спокої. Лише при дуже важкій м'язовій роботі з рівнем споживання O_2 близьким до МПК може спостерігатись невелике падіння парціального напруження кисню і зниження його вмісту в артеріальній крові, що відтікає від легеневих альвеол. Це зниження вмісту кисню в артеріальній крові називається робочою артеріальною гіпоксемією. Одночасно зростає парціальний тиск CO_2 – спостерігається гіперкапінія. Ці зміни компенсується зростанням ХОК.

При дифузії газів з альвеол в капіляри чи навпаки молекули газу повинні пройти через багат шарову легеневу мембрану. Вона складається з епітелію альвеол, основних мембран, ендотелію кровоносних капілярів. Епітелій альвеол зсередини покритий плівкою поверхнево-активних речовин – сурфактантів, що полегшує розтягнення альвеол під час вдиху та покращує дифузію кисню у кров. На швидкість обміну дихальних газів впливає вміст еритроцитів в капілярній крові та концентрація в них гемоглобіну, оскільки захоплення O_2 кров'ю та виділення нею CO_2 пов'язані з хімічною реакцією цих газів з гемоглобіном. Чим вища швидкість цих реакцій і чим більший об'єм крові в капілярах, тим швидший газообмін між альвеолярним повітрям та кров'ю.

Лише невелика частина (2%) кисню транспортується кров'ю у розчиненому в плазмі стані. Решта транспортується у формі нестійкої сполуки з киснем – оксигемоглобіну. Кров здатна зв'язати у середньому 21 мл кисню на 100 мл крові (*киснева ємність крові*). Рівень насиченості гемоглобіну киснем залежить від парціального тиску кисню у крові. Крива такої залежності називається *кривою дисоціації гемоглобіну*. Завдяки наявності такої залежності венозна кров у капілярах легень насичується киснем, а артеріальна кров у капілярах тканини, де парціальний тиск кисню нижчий, віддає кисень навколишнім тканинам. Гемоглобін більш ефективно віддає кисень за умови підвищення температури і зниженні рН крові, тобто в умовах підвищеного напруження вуглекислого газу. Такий “зсув вправо” полегшує насичення киснем працюючих м'язів. У тканинах кожні 100 мл крові віддають тканинам 5-6 мл O_2 – *артеріовенозна різниця по кисню*. З її допомогою вираховують коефіцієнт утилізації кисню шляхом ділення величини артеріовенозної різниці по кисню на вміст кисню у венозній крові і помножений на 100%. У спокої цей коефіцієнт рівний 30-40 об%. При напруженій м'язовій роботі він може зрости до 50-60 об% і більше.

Лише 3-6% вуглекислого газу транспортується плазмою крові у розчиненому стані. Решта вступає у хімічні зв'язки. Близько 80% CO_2

транспортуються у гідрокарбонату, утворенню якого сприяє *карбоангідраза* еритроцитів. Окрім того, дезоксигенований гемоглобін може переносити до 15% CO_2 у вигляді карбамінових сполук. Таким чином кров поглинає у тканинах 4-5 мл CO_2 на 100 мл крові – *артеріовенозна різниця за CO_2* .

Обмін дихальних газів між капілярною кров'ю і тканинами проходить, як і у легнях, шляхом дифузії. При цьому молекули кисню переносяться за градієнтом напруження цього газу з еритроцитів плазми (95 мм.рт.ст) в оточуючі тканини (20-40 мм. рт. ст.). Одночасно проходить дифузія вуглекислого газу з тканин в кров (напруження CO в тканинах велике (60 мм.рт.ст), в крові мале – 40 мм.рт.ст). Таким чином парціальний тиск O_2 і CO_2 в крові відіграє велику роль в тканинному газообміні.

У важких умовах роботи в постачанні м'язів киснем може мати значення також і внутрім'язовий пігмент міоглобін, що виконує роль депо кисню. Міоглобін додатково зв'язує 1,0-1,5 л O_2 . Зв'язок кисню з міоглобіном міцніший, ніж з гемоглобіном. Оксигемоглобін віддає кисень лише при вираженій гіпоксемії (зниженню насичення крові киснем) або на початку інтенсивної м'язової роботи до часу зростання м'язового кровообігу і за рахунок цього забезпечується адекватне постачання м'язів киснем.

3. Регуляція дихання. Дихальний центр.

Адаптація дихання до потреб організму здійснюється шляхом складної системи нейроендокринної регуляції. Нервова регуляція може здійснюватись як за безумовнорефлекторним механізмом, так і шляхом умовних рефлексів, що має важливе значення під час виконання спортивних вправ. Поряд з нервовою регуляцією функціонують гуморальні механізми, що забезпечують оптимальний рівень парціального тиску кисню, вуглекислого газу і певної величини рН крові, які відповідали б конкретним метаболічним потребам організму в будь-яких умовах Збільшення або зменшення об'ємів легеневої вентиляції досягаються шляхом певної комбінації частоти і глибини дихання. Отже, регуляція дихання повинна забезпечувати найбільш економне

співвідношення між цими двома параметрами, що досягається роботою *дихального центру*.

Дослідження Н.А.Миславського (1885) показали, що *дихальний центр* локалізований на дні IV шлуночка в ретикулярній формації довгастого мозку. Він складається з двох частин - *інспіраторного* (центру вдиху) і *експіраторного* (центру видиху). Інспіраторні нейрони дихального центру посилюють свою активність у фазу вдиху, а експіраторні - у фазу видиху. Ці дві групи нейронів реципрокно зв'язані одні з одними, так що активність одних гальмує активність інших. Частота зміни активності інспіраторних і експіраторних нейронів дихального центру визначає частоту дихання, а рівень їх збудження - силу скорочень дихальних м'язів, а отже глибину дихання. Ритмічну зміну вдиху і видиху забезпечують нейрони *пневмотаксичного центру*, що розміщений у ділянці варолієвого моста. Від дихального центру імпульси надходять до мотонейронів спинного мозку, а від них – по діафрагмальних і міжреберних нервах до дихальних м'язів.

Дихальний центр володіє певною *автоматією*, тобто постійною ритмічною активністю. При цьому важливе значення для підтримання ритмічної активності нейронів дихального центру має аферентна стимуляція, в тому числі від хеморецепторів. На активність дихального центру впливають вище розміщені центри головного мозку, зокрема нервові центри *середнього і проміжного мозку, мозочок, лімбічна система, кора великих півкуль і особливо її моторна зона* (яка забезпечує узгодження дихання з ритмікою рухів).

Основне значення в регуляції дихання мають багаточисленні аферентні шляхи, що йдуть в дихальний центр. Через них він отримує інформацію: 1) від *механорецепторів* дихальних м'язів і рухового апарату; 2) від *хеморецепторів* судин і самого дихального центру.

Механорецептори розміщені в легенях, зокрема гладком'язових клітинах *трахеї та бронхів* реагують на розтяг і стискання легень., імпульси від них надходять у дихальний центр по відгалуженнях блукаючого нерва.

Наростання їх збудження під час вдиху призводить до гальмування нейронів інспіраторного центру, що призводить до зупинки вдиху і початку видиху (рефлекс Герінга-Брейєра). Вони також беруть участь у регуляції швидкості вдиху і видиху. *Рецептори* верхніх дихальних шляхів мають значення при здійсненні захисних рефлексів (кашель). *Пропріорецептори* міжреберних м'язів та діафрагми. Ці м'язи містять м'язові веретена (діафрагма – більше сухожильні органи), які збуджуються при утрудненні вдиху або видиху. Вони беруть участь у аналізі відповідності програми дихальних рухів із реальним скороченням м'язів, запускаючи за необхідності механізм корекції. Рефлекси з міжреберних м'язів, ймовірно, беруть участь у пристосуванні частоти дихання до робочого ритму м'язів (бігових рухів і т.д.).

Хеморецептори. Напруження вуглекислого газу і кисню, також рН артеріальної крові не лише безпосередньо залежать від зовнішнього дихання, але в свою чергу впливають на вентиляцію легенів. Наявність гуморальної регуляції дихання підтверджена дослідом *Фредеріка* із перехресним кровопостачанням мозку піддослідних тварин. Інформація про рівень цих хімічних показників в артеріальній крові надходить від периферичних хеморецепторів. Зокрема, у *каротидному клубочку* розміщені хеморецептори, що реагують на напруження O_2 , напруження CO_2 , рН крові (надходять по язикоглотковому нерву). Рецептори, чутливі до напруження CO_2 , рН крові розміщені також поблизу клітин дихального центру у довгастому мозку.

Збільшення напруження CO_2 в артеріальній крові (*гіперкапінія*) веде до підвищення хвилинного об'єму дихання. Як правило, при цьому зростає як дихальний об'єм, так і частота дихальних рухів. Разом з тим одним лише впливом CO_2 неможливо пояснити збільшення хвилинного об'єму дихання при фізичному навантаженні. Коли проходить зниження рН артеріальної крові у порівнянні з нормою (7,4) за рахунок нагромадження нелетких кислот і вугільної кислоти, об'єм легеневої вентиляції збільшується. При зростанні рН вище норми - зменшується. Зниження напруження O_2 в артеріальній крові (*гіпоксемія*) супроводжується збільшенням вентиляції легенів. Чутливість

дихального центру до зниження парціального тиску O_2 артеріальної крові дуже слаба. Практично напруження кисню починає суттєво впливати на вентиляцію легенів лише тоді, коли воно знижується до 50-60 мм рт. ст., тобто при значній гіпоксії.

4. Особливість дихання при фізичних навантаженнях.

М'язова діяльність виступає найбільш сильним природнім стимулятором дихання, оскільки енергія для виконання фізичної роботи утворюється у процесах окислення. Легенева вентиляція під час м'язової роботи знаходиться в прямій залежності від потужності роботи (рівня споживання кисню). Так, при напруженій м'язовій роботі об'єм легеневої вентиляції зростає у тренуваних людей до 100 і більше літрів на хвилину. До певного субмаксимального рівня ця залежність лінійна, а при більш важкій роботі легенева вентиляція зростає швидше, ніж підвищується споживання кисню.

Одразу після початку фізичних вправ спостерігаємо зростання легеневої вентиляції за рахунок збільшення частоти і глибини дихання. При цьому початкове швидке зростання дихання обумовлене нервовими факторами – складні рефлекси на обстановку (готовність до дії), інтенсивна імпульсація до працюючих м'язів (іррадіація), аферентна імпульсація від пропріорецепторів працюючих м'язів.

Подальша регуляція дихання тісно пов'язана із хеморецепторами, що реєструють зміни у рівні кисню, вуглекислого газу та рН крові. Зокрема, нагромаджена в тканинах під час роботи молочна кислота переходить в кров і витісняє вугільну кислоту з її зв'язків з K і Na . Це зумовлює підвищення напруження вуглекислого газу в крові, який безпосередньо та рефлекторно збуджує дихальний центр і при цьому збільшується легенева вентиляція. Цьому ж сприяє зменшення напруження O_2 та зростання парціального тиску CO_2 під впливом процесів окислення у працюючих м'язах.

Отже, посилення вентиляції в умовах м'язової роботи зумовлене хімічними змінами, які відбуваються в організмі (нагромадженням вуглекислоти, недоокислених продуктів обміну). Крім того, легенева вентиляція посилюється рефлексорними впливами.

Дихання при м'язовій роботі тісно пов'язане з біомеханічними особливостями положення тіла і механікою самих рухів. У різних положеннях тіла може знижуватись рівномірність вентиляції легенів і зменшуватись загальна площа альвеол, що вентилюється ("гімнастичний міст", їзда на велосипеді і т.д.).

Таким чином, легенева вентиляція залежить від цілого ряду характеристик рухів (особливостей циклічних, ациклічних, силових вправ та іон., від їх потужності, темпу і т.д.). Тому вивчення рухових актів проходить спряжено з дихальними рухами. Чим міцніший зв'язок дихання і рухів, тим легше вони виконуються.

Людина в стані спокою споживає 250-350 мл кисню за хвилину, під час роботи - до 4500-5000 мл. При цьому максимальне поглинання кисню (МПК) визначається здатністю дихальної і серцево-судинної систем транспортувати кисень до тканин. Оскільки значення МПК у значній мірі обумовлене кисневотранспортними можливостями крові, то в цих умовах спостерігається посилення роботи серця (в 2-3 рази зростає частота серцевих скорочень і систолічний об'єм, ХОК – до 35 л/хв). Під час роботи зростає киснева ємність крові (за рахунок виходу еритроцитів з депо), а також збільшується коефіцієнт засвоєння кисню (з 60-80 мл в спокої до 120 мл під час роботи). Підвищене надходження кисню в тканини в умовах роботи зумовлене зниженням напруження кисню, наростанням напруження вуглекислого газу та концентрації H^+ , що приводить до збільшення дисоціації оксигемоглобіну.

Література

1. Вовканич Л.С. Довідник для студентів із дисципліни «Нормальна фізіологія людини» / Л.С.Вовканич, Д.І.Бергтраум. – Львів : ЛДУФК, 2018. – 32 с.
2. Вовканич Л.С. Фізіологічні основи фізичного виховання і спорту: навч. посібник для перепідготовки спеціалістів ОКР "бакалавр": у 2 ч. / Вовканич Л. С., Бергтраум Д. І. – Л.: ЛДУФК, 2011. – Ч. 1. – 344 с. Режим доступу: <http://repository.ldufk.edu.ua/handle/34606048/10059>
3. Ганонг В.Ф. Фізіологія людини: підручник / Переклад з англ. Наук. ред.. перекладу М. Гжегоцький, В. Шевчук, О. Заячківська. – Львів: БаК, 2002. – 784 с.
4. Гжегоцький М.Р. Фізіологія людини / Гжегоцький М.Р., Філімонов В.І., Петришин Ю.С., Мисаковець О.Г. – К.: Книга плюс, 2005. – 494 с.
5. Клінічна фізіологія [Текст] : підруч. для студ. вищ. мед. навч. закл. IV рівня акредитації / В. І. Філімонов. - К. : Медицина, 2013. – 735 с.
6. Коритко З.І. Загальна фізіологія / Коритко З.І., Голубій Є.М. – Львів: 2002. – 172 с.
7. Кучеров І.С. Фізіологія людини і тварин. К. Вища школа.- 1991. – С.3-33.
8. Медична фізіологія за Гайтоном і Голлом: 14-е видання: у 2 томах. Том 1. / Джон Е. Голл, Майкл Е. Голл. – К: Медицина, 2022. – 648 с.
9. Медична фізіологія за Гайтоном і Голлом: 14-е видання: у 2 томах. Том 2. / Джон Е. Голл, Майкл Е. Голл. – К: Медицина, 2022. – 584 с.
10. Нормальна фізіологія / Під. ред. В. І. Філімонова. – К.: Здоров'я, 1994. – 608 с.
11. Фекета В.П. Курс лекцій з нормальної фізіології / В.П.Фекета. – Ужгород: Гражда, 2006. – 296 с.
12. Фізіологія [Текст] : підруч. для студентів вищ. мед. навч. закл. IV рівня акредитації / [В. Г. Шевчук та ін.] ; за ред. чл.-кор. НАПН України,

проф. В. Г. Шевчука. - Вид. 2-ге, випр. і допов. - Вінниця : Нова Книга, 2015.
– 447 с

13. Фізіологія людини : навч. посіб. – Вид. 2-ге, доп. / Яремко Є. О.,
Вовканич Л. С., Бергтраум Д. І. [та ін.]. – Л. : ЛДУФК, 2013. – 208 с. Режим
доступу: <http://repository.ldufk.edu.ua/handle/34606048/9261>

14. Фізіологія людини і тварин (фізіологія нервової, м'язової і
сенсорних систем) / М.Ю. Клевець, В.В.Манько, М.О. Гальків та ін. – Л.:
ЛНУ імені Івана Франка, 2011. – 326 с.

15. Фізіологія людини: підручник / В.І. Філімонов, 4-е видання – К:
Медицина, 2021, – 448 с.

16. Фізіологія: підручник для студ. вищ. мед. навч. закладів /
В.Г.Шевчук, В.М.Мороз, С.М.Белан [та ін.]; за ред.. В.Г.Шевчука. –
Вінниця: Нова книга, 2012. – 448 с.

17. Чайченко Г.М. Фізіологія людини і тварин / Чайченко Г.М.,
Цибенко В.О, Сокур В.Д. – К: Вища школа, 2003. – 463 с.