

**Львівський державний університет фізичної культури
ім. Івана Боберського
Кафедра анатомії та фізіології**

Лекція № 11

ФІЗІОЛОГІЯ ДИХАННЯ

з навчальної дисципліни

«ФІЗІОЛОГІЯ ЛЮДИНИ»

Рівень вищої освіти – бакалавр

Спеціальність – 017 „Фізична культура і спорт”

Склала: доц. Бергтраум Д.І.
Затверджена на засіданні
кафедри анатомії та
фізіології
"30" серпня 2021 р.
протокол № 1

Тема лекції: ФІЗІОЛОГІЯ ДИХАННЯ

План лекції:

1. Вступ.
2. Морфо-функціональна характеристика системи дихання.
3. Механізм вдиху і видиху. Від'ємний внутрішньо-плевральний тиск
4. Показники зовнішнього дихання.
5. Газообмін в легенях і обмін газів між кров'ю та тканинами.
6. Особливість дихання при фізичних навантаженнях.
7. Регуляція дихання.
8. Висновок.

Лекція розрахована на 2 академічні години.

Навчальні та виховні цілі: сформувати уявлення про будову й функції дихальної системи, функціональні показники зовнішнього дихання, механізми газообміну в організмі, особливості дихання при фізичних навантаженнях і за різних умов, розглянути механізми регуляції дихання.

Матеріальне забезпечення: таблиці, слайди, мультимедійні презентації.

1. МОРФО-ФУНКЦІОНАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА СИСТЕМИ ДИХАННЯ

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

У ссавців і людини газообмін майже повністю здійснюється в легенях, а через шкіру та травний тракт - лише 1-2%.

Легені являють собою систему трубок - бронхів, бронхіол та альвеол. Тоненькі стінки альвеол знаходяться в дуже тісному контакті з кровоносними капілярами. Альвеоли часто порівнюють з листочками дерев, що знаходяться на тоненьких гілочках (бронхіолах) стовбура (бронха). Порівняння близьке навіть в чисто

функціональному значенні так, як відомо, що в листках також проходить газообмін.

Легені - парний, дубльований орган. І все таки будова обох половин неоднакова. Права легеня ділиться на три долі, а ліва - на дві. Легені новонародженого мають світло-рожеве забарвлення. У дорослих вони відрізняються наявністю темних смуг, що являють собою частки бруду та кіпоті. Легені - протидимовий фільтр, і вони особливо чутливі до несприятливих факторів оточуючого середовища. Крім своєї найважливішої функції газообміну, постачання гемоглобіну киснем, виводу вуглекислого газу легені беруть участь у підтриманні сталої концентрації іонів в організмі, можуть виводити з нього ефірні масла, ароматичні речовини, "алкогольний шлейф", ацетон і т.д. Вони впливають на кількість води в організмі, так як через легені випаровується мінімум 0,5 л води на добу, а при підвищеній температурі та прискореному диханні в екстремальних умовах - навіть до 10 літрів. Легені беруть також участь у формуванні деяких емоцій (плач, сміх) та у звуковираженні (крик, свист, гра на музичних духових інструментах).

Дихання людини і вищих тварин включає наступні етапи: 1) обмін повітря між зовнішнім середовищем і альвеолами легенів (зовнішнє дихання або вентиляція легенів); 2) обмін газів між альвеолярним повітрям і кров'ю, що тече через легеневі капіляри (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.

2.ЗОВНІШНЄ ДИХАННЯ. МЕХАНІЗМ ВДИХУ І ВИДИХУ.

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. Існують два механізми, що викликають розширення грудної клітки: 1) підняття ребер; 2) 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. Раніше рахували, що у жінок переважає грудний тип дихання, а у чоловіків - черевний. Однак показано, що тип дихання в більшій мірі залежить від віку (з віком рухливість грудної клітки зменшується), одежі (тісні корсажі перешкоджають черевному диханню) і професії (в осіб, що займаються фізичною працею, переважає черевний тип дихання). Черевне дихання утруднюється в останні місяці вагітності, і тоді додатково включається грудне дихання. Найбільш ефективним з точки зору дихання та гемодинаміки є черевний тип, так як при такому диханні глибше вентилюються легені і полегшується венозний відтік від черевної порожнини до серця. В нормі під час спокійного дихання зміни форми грудної клітки забезпечуються за рахунок роботи міжреберних м'язів і діафрагми. До інспіраторних м'язів грудної клітки відносяться зовнішні міжреберні та внутрішні міжреберні м'язи. В нормальних умовах роль експіраторних м'язів відіграють лише внутрішні міжреберні м'язи. У випадку, коли треба підсилити діяльність дихального апарату - зокрема, при

затрудненному диханні, що супроводжується суб'єктивним відчуттям задишки (диспноє), - можуть включатись, крім основних, додаткові дихальні м'язи. До додаткових інспіраторних м'язів належать всі м'язи, що кріпляться до костей плечового пояса, 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 доверху разом з діафрагмою.

Дихальні рухи - вдих і видих - періодично змінюють об'єм грудної клітки.

При вдиху легені слідує за рухами грудної клітки, хоч і не зрощені з її стінкою. Це відбувається тому, що плевральна щілина, яка відділяє стінку легені від стінки грудної клітки, не збільшується, бо вона не має сполучення з повітрям. В результаті зі збільшенням розмірів грудної порожнини легені розширюються і тиск в них стає нижчий від атмосферного. Між порожниною легенів і зовнішнім повітрям виникає різниця тисків, внаслідок чого атмосферне повітря спрямовується всередину легенів, де тиск нижчий від атмосферного. Таким чином, причиною надходження повітря в легені є зниження в них тиску внаслідок збільшення об'єму грудної порожнини.

Після закінчення скорочення інспіраторних м'язів і діафрагми починається видих. В умовах спокійного дихання опускання ребер при видиху проходить пасивно, за рахунок еластичної тяги зв'язкового апарату, розтягнутого при вдиху. При глибокому видиху опускання ребер відбувається активно за рахунок скорочення основних і додаткових експіраторних м'язів. Крім того стиснуті внутрішні органи втискають купол розслабленої діафрагми в грудну порожнину і розміри її зменшуються у вертикальному напрямі. Таким чином, в кінці видиху ребра разом з грудною кліткою

опущені, купол діафрагми глибоко піднятий в грудну порожнину. Дихальні м'язи розслаблені. Об'єм грудної порожнини зменшений і повітря в легенях стиснуте. Внаслідок чого тиск в порожнині легенів стає вищий за атмосферний, і повітря виходить назовні. Отже, причиною виходу повітря з легенів є підвищення в них тиску, що виникає в результаті зменшення розмірів грудної клітки.

3. ПОКАЗНИКИ ЗОВНІШНЬОГО ДИХАННЯ.

У спокійному стані доросла людина вдихає і видихає в середньому 500 мл повітря (від 300 до 800). Цей об'єм повітря називається дихальним (ДО).

Однак не увесь дихальний об'єм поступає в легеневі альвеоли. Частина повітря залишається в ротовій порожнині, носоглотці, гортані, трахеї та бронхах. Ця частина дихальних шляхів, де повітря не стикається з кров'ю, називається мертвим або шкідливим простором. Його величина у дорослої людини складає 140-160 мл. Сумарна величина повітря, яку 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.

Дихальним об'ємом (ДО) називається кількість повітря, що проходить через легені при одному вдиху (видиху). У спокої він становить приблизно 350-800 мл, при м'язовій роботі він може сягати 1-2 л і більше.

Резервний об'єм вдиху (РОВд) - це повітря, що додатково можна ще вдихнути після звичайного вдиху. Його величина приблизно становить 2500 мл у стані спокою, а при фізичному навантаженні - зменшується.

Резервний об'єм видиху (РОВид) - це повітря, яке ще додатково можна видихнути після звичайного видиху. Його величина у стані спокою становить приблизно 1200 мл і незначно 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 легенів (ЖЄЛ). ЖЄЛ та її 3 складові частини реєструють з допомогою спірометра. 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. Наприклад, в положенні стійка на лопатках зігнувшись ЖЄЛ суттєво зменшується, і головним чином за рахунок зменшення резервних об'ємів вдиху і видиху.

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), так як у цих спортсменів сильно розвинуті допоміжні дихальні м'язи (великі і малі грудні).

Легенева вентиляція (зовнішнє дихання) визначається глибиною дихання (дихальним об'ємом) і частотою дихальних рухів. Обидва ці показники дуже варіюють в залежності від потреб організму.

У спокої доросла людина робить від 12 до 24 дихальних рухів, в середньому 16-20 дихальних рухів у хвилину.

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).

Глибина дихання падає зі збільшенням його частоти.

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).

В умовах спокою легенева вентиляція сильно варіює в межах від 4 до 15 л/хв і знаходиться в прямій залежності від розмірів тіла. ХОД залежить також від статі. В чоловіків він більший, ніж у жінок.

Легенева вентиляція при максимальній аеробній роботі може в 20-25 разів перевищити рівень спокою і становити 100-120 л/хв.

4. ГАЗООБМІН В ЛЕГЕНЯХ. ОБМІН ГАЗІВ МІЖ КРОВ'Ю І ТКАНИНАМИ.

В результаті безперервної вентиляції "свіже" повітря надходить в легені. Це повітря приблизно на 4/5 складається з азоту, на 1/5 з кисню та зовсім невеликої кількості вуглекислого газу. Отже, атмосферне повітря, що вдихає людина містить 79,0% N, 20,9% O₂ і 0,03% CO₂.

Склад альвеолярного повітря відіграє вирішальну роль у насиченні крові киснем, або її артеріалізації (оксигенації). Але для

обміну газами між альвеолярним повітрям і венозною кров'ю має значення не процентний вміст в них газів, а різниця в них парціальних тисків кисню і вуглекислого газу. 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 його об'ємному вмісту. Обмін кисню і вуглекислого газу між альвеолярним повітрям і капілярною кров'ю відбувається шляхом дифузії, т.б. за рахунок руху молекул цих газів з області з більш високим парціальним тиском даного газу в область з більш низьким його тиском. Парціальний тиск кисню в альвеолах (100 мм рт.ст.), значно вищий, ніж напруження O_2 у венозній крові, що поступає в капіляри легенів (40 мм рт.ст.). Градієнт парціального тиску для CO_2 спрямований у зворотній бік (46 мм рт.ст. на початку легеневих капілярів, 40 мм рт.ст. в альвеолах). Ці градієнти тисків є рушійною силою дифузії O_2 і CO_2 , т.б. газообміну в легенях. 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 кровотоку. Час перебування крові в альвеолярних капілярах знижується до 0,25-0,30 с. Але завдяки тому, що градієнти тиску O_2 і CO_2 збільшуються, т.б. збільшується альвеолярно-артеріальний градієнт тиску, цього часу майже досить для газообміну. 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 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. При дифузії газів з альвеол в капіляри чи навпаки молекули газу повинні пройти через

багат шарову легеневу або як вона ще називається альвеолярно-капілярною мембраною. Вона складається з альвеолярної та капілярної стінок, розділених тонким шаром проміжної речовини. внутрішня стінка альвеол вистелена плівкою, що містить речовину (сурфактант), що забезпечує розтягнення легенів. Розчинність CO в легеневій мембрані більш як у 20 разів вища, ніж O₂. Тому порушення дифузії CO на відміну від дифузії O₂ практично не буває. На швидкість обміну дихальних газів впливає вміст еритроцитів в капілярній крові та концентрація в них гемоглобіну, оскільки захоплення O₂ кров'ю та виділення нею CO 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.

Обмін дихальних газів між капілярною кров'ю і тканинами проходить, як і у легенях, шляхом дифузії. При цьому молекули кисню переносяться за градієнтом напруження цього газу з еритроцитів плазми в оточуючі тканини. Одночасно проходить дифузія вуглекислого газу з тканин в кров (напруження CO в тканинах велике, в крові мале). Таким чином напруження O₂ і CO в крові відіграє велику роль в тканинному газообміні.

Кров капілярів великого кола кровообігу віддає тканинам не увесь кисень. Коли в артеріях є біля 19 об% O₂, то у венозній крові, що відтікає від капілярів - близько 11 об% O₂. Отже, тканини засвоїли 8 об% кисню. Різниця між об% O₂ в артеріальній крові, що притікає до тканин і у венозній, що відтікає від них називається артеріо-венозною різницею. З її допомогою вираховують коефіцієнт утилізації кисню шляхом ділення величини артеріо-венозної 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.

У важких умовах роботи в постачанні м'язів киснем може мати значення також і внутрішній пігмент міоглобін, що виконує роль депо кисню. Міоглобін додатково зв'язує 1,0-1,5 л О₂. 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 кровотоку і за рахунок цього адекватного постачання кисню в м'язи.

5. ОСОБЛИВОСТІ ДИХАННЯ ПРИ М'ЯЗОВІЙ РОБОТІ.

Інтенсивність дихання тісно пов'язана з інтенсивністю окисних процесів: глибина і частота дихальних рухів зменшуються в спокої і збільшуються під час роботи, причому тим сильніше, чим більш напружена робота. Так, при напруженій м'язовій роботі об'єм легеневої вентиляції зростає у тренуваних людей до 100 і більше літрів на хвилину. Легенева вентиляція під час м'язової роботи знаходиться в прямій залежності від потужності роботи (рівня споживання кисню). До певного субмаксимального рівня ця залежність лінійна, а при більш важкій роботі легенева вентиляція зростає швидше, ніж підвищується споживання кисню.

Людина в стані спокою споживає 250-350 мл кисню за хвилину, під час роботи - до 4500-5000 мл. Транспорт такої величезної кількості кисню вимагає посиленої роботи серця (в 2-3 рази зростає частота серцевих скорочень і систолічний об'єм). Вирахувано, що при підвищенні споживання кисню під час м'язової роботи на 100 мл за хвилину хвилинний об'єм крові має зрости на 800-1000 мл.

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 поступання кисню в тканини в умовах роботи зумовлене зниженням напруження кисню, наростанням напруження

вуглекислого газу та концентрації H^+ -іонів, що приводить до збільшення дисоціації оксигемоглобіну.

Крім того, 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.

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 рефлекторними 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 вентилується ("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.

6.РЕГУЛЯЦІЯ ДИХАННЯ.

Для забезпечення оптимального напруження кисню, вуглекислого газу і певної величини рН крові, які відповідали би конкретним метаболічним потребам організму в будь-яких умовах (при фізичній роботі, при розмові, співу, кашлю, чханню і т.д.) необхідно чітко регулювати об'єми легеневої вентиляції. 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.

ДИХАЛЬНИЙ ЦЕНТР. Дослідження Н.А.Миславського (1885) показали, що дихальний центр локалізований на дні ІУ шлуночка в сітчастому утворенні 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.

На дихальний центр довгастого мозку впливають вище лежачі центри головного мозку. У варолієвому мості знаходиться пневмотаксичний центр, що регулює нормальну зміну вдиху і видиху. При пошкодженні зв'язків між пневмотаксичним центром і дихальним центром довгастого мозку частота дихання сповільнюється.

На роботу дихального центру впливають нервові центри середнього і проміжного мозку, мозочок, лімбічна система, кора великих півкуль і особливо її сомато-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 дихального і рухового апарату; 2) від хеморецепторів судин і самого дихального центру.

ВПЛИВ МЕХАНІЧНИХ ФАКТОРІВ НА ДИХАННЯ. Механорецептори розміщені: 1) в легенях, бронхах, трахеї, стінках грудної клітини і реагують на їх розтягнення і спадіння. Так, коли

роздути легені, то вдих рефлекторно припиниться і почнеться видих. Отже, імпульсація від цих механорецепторів за принципом зворотнього зв'язку запускає відповідний дихальний рух (рефлекс Герінга-Брейєра).

На дихання впливають також 2) рецептори розтягнення міжреберних м'язів. Ці м'язи, як і інші поперечно-смугасті м'язи, містять м'язові веретена, які збуджуються при утрудненні вдиху або видиху. Особливо велике значення вони можуть відігравати для посилення легеневої вентиляції на самому початку м'язової роботи поки ще не встигає змінитись хімічний склад крові. Рефлекси з міжреберних м'язів, ймовірно, беруть участь у пристосуванні частоти дихання до робочого ритму м'язів (частоті педалювання на велосипеді, бігових рухів і т.д.).

Крім того, механорецептори, що впливають на дихання розміщені ще в самому руховому апараті: 3) суглобові механорецептори і рецептори розтягнення м'язів (м'язові веретена).

ВПЛИВ ХІМІЧНИХ ФАКТОРІВ. Напруження вуглекислого газу і кисню, також рН артеріальної крові не лише безпосередньо залежать від зовнішнього дихання, але в свою чергу впливають на вентиляцію легенів. Інформація про рівень цих хімічних показників в артеріальній крові поступає від периферичних хеморецепторів, які розміщені в клубочках сонних артерій і центральних хеморецепторів - поблизу клітин дихального центру.

ВПЛИВ CO₂. Збільшення напруження CO₂ 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. Регуляторний вплив CO₂ на дихання забезпечує відновлення рівноваги між рівнем вентиляції і рівнем метаболізму, у випадку її порушення. Разом з тим одним лише впливом CO₂ неможливо пояснити збільшення хвилинного об'єму дихання при фізичному навантаженні.

ВПЛИВ Н . Коли проходить зниження рН артеріальної крові у порівнянні з нормою (7,4) за рахунок нагромадження нелетких кислот і вмісту вуглекислого газу , вентиляція легенів збільшується. При зростанні рН вище норми - зменшується.

ВПЛИВ НЕСТАЧІ О . Зниження напруження О в артеріальній крові (гіпоксія) супроводжується збільшенням вентиляції легенів. Чутливість дихального центру до зниження парціального тиску О артеріальної крові дуже слаба. Практично напруження кисню починає суттєво впливати на вентиляцію легенів лише тоді, коли воно знижується до 50-60 мм рт.ст., т.б. при значній гіпоксії.

Рекомендована література

Основна:

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. посіб. для перепідготовки спеціалістів ОКР "бакалавр" : у 2 ч. / Вовканич Л. С., Бергтраум Д. І. – Львів : ЛДУФК, 2011 – Ч. 1. – 344 с.
3. Коритко З. І. Загальна фізіологія / Коритко З. І., Голубій Є. М. – Львів, 2002. – 172 с.
4. Физиология человека / под ред. Н. В. Зимкина. – Москва : Физкультура и спорт, 1975. – 213 с.
5. Физиология мышечной деятельности / под ред. Я. М. Коца. – Москва : ФиС, 1982. – 243 с.
6. Фізіологія людини : навч. посіб. / [Яремко Є. О., Вовканич Л. С., Бергтраум Д. І., Коритко З. І., Музика Ф. В.]. – Вид. 2-ге, допов. – Львів : ЛДУФК, 2013. – 207 с.
7. Кучеров І. С. Фізіологія людини і тварин. – Київ: “Вища школа”, 1991.

Допоміжна:

8. Физиология человека. Под ред. Е.Б. Бабского. - Москва: Мир, 1966.
9. Гальперин С.И. Физиология человека и животных. - Москва: Высшая школа, 1977.
10. Физиология человека. Под ред. Р. Шмидта и Г. Тевса. - Москва: Мир, 1986.
11. Кюнцель Д. Организм человека. - Berlin: VEB, 1988.
12. Эккерт Д., Рэнделл Д., Огастин Дж. Физиология животных. - Москва: Мир, 1992.
13. Коритко З. І. Адаптаційні зміни кисневозалежного енергетичного обміну у бігунів різної кваліфікації за умов граничних фізичних навантажень / З. І. Коритко // Вісник проблем біології і медицини. – 2010. – Вип. 3, т. 1. – С. 133 – 137.
14. Пенчук А. В. Адаптивные изменения отдельных показателей системы внешнего дыхания спортсменов-ориентировщиков / А. В. Пенчук, Л. С. Вовканыч // Молодая спортивная наука Беларуси : материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Минск, 2014. – Ч. 3. – С. 64 – 67.
15. Пенчук А. В. Показники зовнішнього дихання спортсменок-орієнтувальниць високої кваліфікації / А. В. Пенчук, Л. С. Вовканич, Т. Давиденко // Адаптаційні можливості дітей та молоді : матеріали X Міжнар. наук.-практ. конф., присвяч. 95-річчю утворення кафедри біології і основ здоров'я ПНПУ ім. К. Д. Ушинського. – О., 2014. – Ч. 2. – С. 191–194.
16. Міхель Д. Адаптивні зміни показників зовнішнього дихання висококваліфікованих борчинь вільного стилю / Міхель Д., Вовканич Л. // Вітчизняна наука: сучасний стан, актуальні проблеми та перспективи розвитку : матеріали II Всеукр. наук.-практ. інтернет-конф. – Переяслав-Хмельницький, 2012. – С. 144 – 146.

