

Миколаївський національний університет
імені В. О. Сухомлинського

Факультет фізичної культури та спорту
Кафедра теорії та методики фізичної культури

Лекція на тему:
“ФІЗІОЛОГІЯ ДИХАННЯ”

Для студентів

Галузі знань – 0102 «Фізичне виховання, спорт і здоров'я людини»

Напрямам підготовки: 6.010201 – «Фізичне виховання*»
6.010202 – «Спорт»
6.010203 – «Здоров'я людини*»

Укладач:
доцент Гетманцев С.В.

Миколаїв - 2016

Мета: ознайомити студентів з основними закономірностями структурно-функціональної організації дихальної системи людини.

Завдання: висвітлити фізіологічні процеси газообміну, які відбуваються на різних рівнях функціонування системи дихання людини в певних функціональних станах.

План.

1. Поняття про дихання	с. 3
2. Зовнішнє дихання	с. 4
3. Легеневі об'єми	с. 5
4. Вентиляція легень	с. 6
5. Газообмін в легенях	с. 7
6. Транспорт газів кров'ю	с. 8
7. Регуляція дихання	с. 10
8. Дихання при фізичній роботі	с. 12
9. Вікові особливості системи дихання	с. 14

Ключові слова: дихальна система, легені, альвеоли, бронхи, парціальний тиск газів, життєва ємкість легень, спірометрія.

Поняття про дихання

Енергія, необхідна людині для здійснення різних видів фізіологічної активності, постачається за рахунок біологічного окислення. Суттєвою рисою цих біологічних реакцій є перенесення атомів водню з однієї молекули (донора) на другу (акцептор). Енергія, яка при цьому утворюється, переноситься на фосфорно-ефірний зв'язок молекули АТФ. Кінцевим акцептором атомів водню є кисень. Організм може зберігати лише невеликий запас кисню у вигляді оксигемоглобіну крові і м'язів. Тому для нормального обміну речовин кисень повинен постійно надходити в організм.

В клітинах тварин паралельно із споживанням кисню відбувається утворення вуглекислого газу. Сукупність процесів, що забезпечують обмін газів між організмом і зовнішнім середовищем, називають диханням. Дихання відбувається в кілька етапів: 1) обмін газів між легенями і атмосферним повітрям, 2) обмін газів між альвеолярним повітрям і кров'ю, 3) транспорт газів кров'ю, 4) обмін газів між клітинами і кров'ю, 5) споживання клітинами кисню і утворення вуглекислого газу.

Дихальний апарат людини. Апарат дихання людини складається із носової порожнини, глотки, гортані, трахеї, правого і лівого бронхів, бронхіол і альвеол. Бронхіоли і альвеоли входять до складу легень. Слизова оболонка носової порожнини має багато кровоносних судин і залоз, що виділяють слиз. Проходячи через, носову порожнину, повітря очищається від пилу і мікроорганізмів, зволожується і залежно від його температури зігрівається або охолоджується. Через гортань повітря потрапляє в трахею і далі правий і лівий бронхи, які поділяються на більш дрібні бронхіоли першого, другого і третього порядків, утворюючи бронхіальне дерево. Бронхіоли переходять в альвеолярні ходи і закінчуються альвеолами. Альвеоли мають кулясту форму і складаються із кількох шарів епітелію. Із альвеол кисень шляхом дифузії переходить у капіляри, а вуглекислий газ із крові в альвеоли. Завдяки невеликим розмірам і великій кількості (близько 400 млн.) загальна дифузійна поверхня альвеол дорівнює 100 ... 120 м².

Легені розташовані в герметично замкнутій грудній порожнині. Зовні вони вкриті вісцеральним листком плеври, який в області основи легень переходить в парієтальний листок, що вистеляє внутрішню поверхню ребер. Між зовнішніми і внутрішніми листами плеври існує герметично замкнутий простір, що носить назву плевральної щілини. В ній знаходиться 1 ... 2 мл плевральної рідини, що полегшує ковзання листків плеври один відносно одного. В плевральній порожнині тиск, завжди нижчий за атмосферний, тому легені знаходяться в розтягнутому стані. При порушенні цілісності грудної клітки тиск повітря в плевральній порожнині зрівнюється з атмосферним, легені спадаються, дихання стає неможливим.

Зовнішнє дихання

Зовнішнє дихання, або вентиляція легень, полягає в обміні газів між зовнішнім середовищем і альвеолами. Здійснюється цей процес завдяки актам вдиху і видиху, які ритмічно змінюють один одного. Акт вдиху (інспірація) і акт видиху (експірація) відбуваються завдяки зміні об'єму легень. Під час вдиху внаслідок скорочення міжреберних м'язів грудна порожнина збільшується в передньо-задньому і боковому напрямках. Скорочення м'язових волокон діафрагми призводить до її опускання і збільшення грудної порожнини у вертикальному напрямку. При збільшенні об'єму грудної клітки тиск повітря в плевральному просторі, як в герметично закритій порожнині, стає меншим за атмосферний на 8 ... 11 гПа при спокійному і на 40 гПа при глибокому вдиху. А оскільки плевральний простір не з'єднаний з атмосферним повітрям, то внутрішній листок плеври, наближаючись до зовнішнього листка, розтягує легені. Атмосферний тиск в легенях при цьому знижується. В результаті різниці тисків між атмосферним повітрям і порожниною легень повітря надходить всередину легень. Під час видиху скорочення дихальних м'язів змінюється розслабленням їх. Ребра при цьому опускаються, грудна клітка повертається у вихідне положення. Діафрагма набирає куполоподібної форми. Це призводить до підвищення внутрішньо плевального тиску. Легені в силу своїх еластичних властивостей спадаються і повітря виходить із альвеол. Спокійний видих відбувається завдяки розслабленню м'язів вдиху (інспіраторних) і пасивному зменшенню об'єму легень у силу еластичності їх. Причиною виходу повітря із легень є підвищення в них тиску в результаті зменшення розмірів грудної порожнини. На вершині видиху тиск в легенях стає на 4 ... 5 гПа вищим за атмосферний. При глибокому диханні опускання ребер відбувається не пасивно, а внаслідок скорочення міжреберних м'язів. Під час інтенсивного дихання в роботу включаються також м'язи шиї, грудної клітки, живота та ін.

Тиск, який розвивають дихальні м'язи при максимальному вдиху і видиху під час повного закриття дихальних шляхів, характеризує їхню силу. Закриття дихальних шляхів після максимального видиху призводить до натужування, яке негативно впливає на роботу серця.

В процесі дихання переважну роль може відігравати скорочення міжреберних м'язів або діафрагми, В першому випадку говорять про грудний тип дихання, у другому — про діафрагмальний. Тип дихання, при якому скорочення міжреберних м'язів і діафрагми відіграють однакову роль, називають змішаним. Діафрагмальний і змішаний типи дихання більш ефективні, ніж грудний, оскільки при ньому вентилюються всі альвеоли легень, а при грудному типі — тільки верхня частина легень. У дітей, особливо у дівчаток, переважає грудний тип дихання. В процесі занять фізкультурою і спортом формується змішаний тип дихання.

Дихання, як і всякий ритмічний процес, характеризується частотою і амплітудою (глибиною). У дорослих людей частота дихання дорівнює 15 ...

20 циклів за 1 хв. Для спортсменів характерним є більш рідке (8... 12 циклів за 1 хв) і глибоке дихання.

Легені в грудній порожнині постійно знаходяться в стані незначного розтягнення внаслідок наявності негативного тиску в плевральній порожнині. З другого боку на них діють сили, направлені на зменшення об'єму легень. Ці сили утворені властивостями еластичних волокон паренхім легень і поверхневим натягом рідини, якою змочуються альвеоли. Вони створюють опір розширенню легень, який називають еластичним опором. При русі повітря і переміщенні тканин під час дихальних рухів виникає тертя. Це так званий нееластичний опір дихання. Робота дихальних м'язів витрачається на перетворення еластичного і нееластичного опору. Кількість енергії, яка необхідна для виконання цієї роботи в стані фізіологічного спокою, відносно невелика - 2 ... 3% від загального споживання кисню організмом, але вона різко збільшується під час фізичної роботи, коли легенева вентиляція досягає більше 100 л за 1 хв. На дихання в цьому випадку витрачається 10% споживаного кисню.

Легеневі об'єми

Залежно від положення грудної клітки, кількість повітря, що міститься в легенях, неоднакова. Кількість повітря, що знаходиться в легенях після максимального вдиху, визначає загальний об'єм легень. Складається він із чотирьох компонентів: дихального об'єму, резервного об'єму вдиху, резервного об'єму видиху і залишкового об'єму .

Дихальний об'єм —це об'єм повітря, який вдихається і видихається за кожним дихальним циклом. У дорослих людей в спокої він дорівнює 350 ... 600 см³, а під час м'язової роботи у спортсменів може досягати чотирьох літрів. Резервний об'єм вдиху - це той об'єм повітря, який ще можна максимально вдихнути після спокійного вдиху. Резервним об'ємом видиху називають об'єм повітря, який можна максимально видихнути після звичайного видиху. Резервні об'єми вдиху і видиху дорівнюють 1500 ...2500 см³. Об'єм повітря, що залишається в легенях після максимального видиху, називають залишковим. Його величина — 1200 ... 1500 см³. Об'єм повітря, який можна максимально видихнути після максимального вдиху, називається життєвою ємністю легень (ЖЄЛ). ЖЄЛ дорівнює сумі резервного об'єму вдиху і видиху та дихального об'єму. Величина ЖЄЛ залежить від маси, зросту, віку, статі людей і коливається від 3,0 до 7,0 л. У жінок вона менша, ніж чоловіків тієї ж маси, зросту і віку. Величина ЖЄЛ є одним із важливих показників фізичного розвитку людини і функціонального стану системи дихання. На практиці ЖЄЛ вимірюють за допомогою спірометра (водяного або сухого) і порівнюють фактичні дані з належними (середніми) величинами ЖЄЛ для даного зросту, маси, віку. Належні величини розраховують за формулами або знаходять за номограмами. Для чоловіків належну життєву ємність легень (НЖЄЛ) знаходять за такою формулою $NЖЄЛ = 27,63 - (0,112 * \text{вік у роках}) * \text{зріст у см}$. Для жінок формула має такий вигляд:

$HЖЄЛ=21,78-(0,101 * \text{вік у роках}) * \text{зріст у см.}$ Зменшення фактичної величини ЖЄЛ від належної більш ніж на 15% слід розцінювати як недостатній розвиток функціонального стану апарату дихання. Життєва ємність легень значно збільшується під впливом спортивних тренувань, особливо в циклічних видах спорту.

З кожним актом вдиху не весь об'єм вдихуваного повітря потрапляє в альвеоли і бере участь у газообміні. Частина повітря ($160 \dots 180 \text{ см}^3$) залишається в повітроносних шляхах (носоглотці, трахеї, бронхах, бронхіолах). Ці частини апарату дихання називаються «мертвим» простором, оскільки в ньому не відбувається газообміну. Але в цих частинах дихальної системи повітря зігрівається або охолоджується, зволожується, очищається, тобто ця частина дихального апарату відіграє позитивну роль в диханні.

Вентиляція легень

Завдяки ритмічній роботі дихальних м'язів повітря в легенях постійно оновлюється. Цей процес носить назву легеневої вентиляції. Показником її величини є хвилинний об'єм дихання (ХОД), який визначається як добуток дихального об'єму на число дихальних рухів за 1 хвилину. Але частина дихального об'єму повітря не доходить до альвеол, а залишається а повітроносних шляхах. Наприклад, якщо дихальний об'єм дорівнює 500 см^3 , а об'єм повітря, що залишається в «мертвому» просторі, — 180 см^3 , то в альвеоли надходить лише 68% об'єму повітря. Тому розрізняють поняття «легеневої вентиляції» і «альвеолярної вентиляції». Легеневою вентиляцією називають той об'єм повітря, що надходить у верхні дихальні шляхи за одиницю часу, а альвеолярною вентиляцією — ту частину об'єму повітря, яка досягає альвеол. У спокої легенева вентиляція в дорослих людей дорівнює 5 ... 8 літрів. Залежно від інтенсивності м'язової роботи ХОД може збільшуватись у 15... 20 разів, тобто до 100... 160 л за 1 хвилину. Величину легеневої вентиляції визначають, збираючи видихуване повітря в спеціальний прогумований мішок, а потім пропускаючи його через газовий лічильник, або за допомогою спірографа.

Максимальну величину легеневої вентиляції (МВЛ) використовують як один з показників функціональних можливостей дихальної системи. Для визначення МВЛ вимірюють об'єм повітря, що проходить через легені за 30 с дихання з максимальною можливою глибиною і частотою. У спортсменів деяких видів спорту МВЛ доходить до 200 л за 1 хвилину, в той час як у людей, що не займаються спортом тільки 70 ... 80 л. Важливо порівнювати реальну МВЛ з належною. Належна величина МВЛ визначається за формулою $\frac{ЖЭЛx70}{3}$. Система дихання має великі функціональні можливості.

Але при фізичних навантаженнях субмаксимальної потужності збільшення легеневої вентиляції лімітується значним збільшенням механічної роботи дихання м'язів. Ефективність роботи дихальної системи при цьому зменшується.

Як відомо, об'єм газів залежить від тиску, температури і насичення їх водяними парами. Тому при вимірюванні легеневого об'єму і величини вентиляції легень необхідно привести їх до певних умов. Розрізняють так звані стандартні умови (температура 0° С, тиск 1013 гПа і без водяного пару, стан АТРС) і умови, в яких повітря знаходиться в організмі (температура 37° С, фактичний барометричний тиск і відносна вологість 100%, стан ВТРС). Приведення об'ємів легеневої вентиляції до стандартних умов дає змогу порівнювати експериментальні дані, одержані при різних температурах, тиску і вологості повітря.

Газообмін в легенях

Обмін газів між альвеолярним повітрям і кров'ю відбувається через альвеолярно-капілярну мембрану. Вона складається з епітелію альвеол і ендотелію капілярів і має товщину не більше 0,4 мкм. Стінки капілярів добре проникні для води і дрібнодисперсних розчинів. Рідка частина крові в невеликих кількостях надходить із капілярів в альвеоли, що призводить до насичення альвеолярного повітря парами. Через таку рідинно-тканинну мембрану і відбувається газообмін. Силою, що визначає напрямок і швидкість рухів газів, є величина парціального тиску їх в альвеолярному повітрі і крові (табл. 1).

Таблиця 1. Склад і парціальний тиск газів вдихуваного, видихуваного і альвеолярного повітря (при барометричному тиску 1013 гПа)

Газ	Склад повітря, %			Парціальний тиск, гПа		
	вдихуване	видихуване	альвеолярне	видихуване повітря	видихуване повітря	альвеолярне повітря
Кисень	20,82	16,3	13,90	154,5	200,0	134,5
Вуглекислота	0,03	4,0	5,62	39,3	0,40	3,3
Азот	79,15	79,7	80,48	755,8	793,3	761,6

В альвеолярному повітрі парціальний тиск кисню дорівнює 134,5 гПа, а у венозному кінці легневих капілярів — 53,3 гПа. Різниця в 81,2 гПа зумовлює дифузію O₂ в кров. Парціальний тиск CO₂ у венозній крові дорівнює 62,7 гПа, а в альвеолярному повітрі 53,3 гПа. Різниця парціальних тисків становить всього 9,4 гПа, але її досить, щоб забезпечити перехід CO₂ із венозної крові в альвеоли. Швидкість дифузії O₂ і CO₂ в 1 мл за 1 хвилину на 1,33 гПа різниці парціальних тисків між альвеолами і легневими капілярами є показником дифузійної здатності легень.

В легневих капілярах кров знаходиться протягом 0,5 ... 0,7 с. Цього часу досить, щоб в них відбувався газообмін. При інтенсивній м'язовій роботі

в результаті зміни біомеханічних умов дихання, збільшення швидкості кровотоку і пульсуючого характеру капілярного кровообігу період перебування крові в капілярах легень недостатній для повного насичення її киснем. Це становить певну межу потужності транспортної системи кисню. Дифузія CO_2 із крові в альвеоли в цих умовах суттєво не змінюється, оскільки розчинення її в рідині, що знаходиться на дні альвеол, в 20 разів вище, ніж у O_2 , і тому вуглекислота встигає повністю дифундувати із венозної крові в альвеоли.

Транспорт газів кров'ю

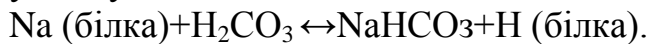
Гази в крові знаходяться в розчиненому і хімічно зв'язаному стані. Коефіцієнт розчинення кисню в крові дорівнює для O_2 0,022, азоту — 0,011, вуглекислоти 0,511. Визначено, що в 100 мл артеріальної крові міститься 19,21 мл кисню, з яких тільки 0,25 мл знаходиться в розчиненому стані. Тому переважне значення в транспорті газів кров'ю мають спеціальні переносники. Функцію переносника O_2 в організмі людини відіграє гемоглобін. Один грам гемоглобіну може зв'язати 1,34...1,36 мл O_2 . Кількість кисню, яку може зв'язати 100 мл крові при повному насиченні гемоглобіну киснем, називають кисневою ємністю крові. У дорослої людини киснева ємність крові в середньому дорівнює 20,6 об'ємних %. При фізичних навантаженнях киснева ємність крові збільшується до 24 об'ємних % внаслідок виходу в циркулюючу кров еритроцитів, що знаходились у депо. Сумарна киснева ємність всієї крові людини дорівнює 1000 ... 1200 мл O_2 . Цього досить, щоб задовольнити потреби організму у кисні в стані спокою протягом 3 ... 4 хв при повному його використанні.

Реакція між киснем і гемоглобіном полягає в переході відновленого гемоглобіну (Hb) в окислений (HbO_2)—оксигемоглобін: $\text{Hb} + 4\text{O}_2 \leftrightarrow (\text{HbO}_2)_4$.

Насичення крові киснем залежить від його парціального тиску. При збільшенні PO_2 процент насичення крові киснем збільшується, при зниженні — зменшується. Але залежність між PO_2 і процентом насичення крові киснем не прямо пропорційна. В зоні малих величин PO_2 насичення крові киснем відбувається значно швидше, ніж в зоні великих значень PO_2 . Залежність між PO_2 крові і насиченням гемоглобіну киснем відображає крива дисоціації оксигемоглобіну. Біологічна суть такої S-подібної залежності полягає в тому, що гемоглобін достатньою мірою насичується в легенях киснем при значних коливаннях його парціального тиску і достатньо швидко дисоціює в тканинах при низьких PO_2 , віддаючи кисень. Так, навіть на висоті 4 тис. м, де PO_2 в альвеолярному повітрі падає до 80 гПа, тобто на 60%, насичення крові киснем у капілярах альвеол знижується всього на 11% (з 96 до 85%). Швидкість дисоціації оксигемоглобіну збільшується при зниженні рН крові, підвищенні її температури і збільшенні кількості CO_2 . Останній фактор має найбільш суттєве значення для постачання тканин киснем при напруженій м'язовій роботі, коли в тканинах утворюється значна кількість CO_2 .

Транспорт вуглекислого газу. Основна частина CO_2 (99,5%), що утворюється в результаті окисних процесів в тканинах, виділяється через легені і тільки 0,5% — через нирки. Із тканин вуглекислий газ внаслідок градієнта концентрацій, шляхом дифузії переходить у кров. Тут основна його маса зв'язується з лужними металами (80 об'ємних %), 4 ...5 об'ємних % з'єднуються з гемоглобіном у вигляді карбгемоглобіну, 2 ... 3 об'ємних % залишаються фізично розчиненими у плазмі крові.

Спрощено процеси транспорту CO_2 можна уявити таким чином: вуглекислий газ в крові, приєднуючи воду, утворює вугільну кислоту, яка відразу зв'язується з білками плазми:



В легенях HCO_3^- дисоціює і звільнений CO_2 виходить в альвеоли. Процес утворення і звільнення CO_2 вугільної кислоти прискорюється ферментом — карбоангідразою, який міститься в еритроцитах. В тканинних капілярах карбоангідраза в 20 тис. разів прискорює утворення вугільної кислоти, а в легеневих капілярах, де концентрація CO_2 падає, цей фермент прискорює її дисоціацію. На процес з'єднання CO_2 з кров'ю впливає присутність оксигемоглобіну. В капілярах тканин гемоглобін віддає кисень і тим самим полегшує насичення крові вуглекислотою.

Обмін газів між кров'ю і тканинами. В артеріальній крові міститься в середньому 20 об'ємних % кисню, парціальний тиск якого дорівнює 133 гПа. В тканинах кисень безпосередньо використовується і парціальний тиск його падає до нуля. Тому внаслідок різниці тисків відбувається дисоціація HbO_2 і дифузія O_2 із артеріальної крові в тканину. При цьому кров віддає не весь кисень. У венозній крові залишається ще близько 11 об'ємних % кисню. Таким чином, тканини утилізують 9 об'ємних % кисню. Різниця між вмістом кисню (в об'ємних %) в артеріальній і венозній крові називається артеріально-венозною різницею. За цією різницею можна розраховувати коефіцієнт утилізації кисню (КУК), тобто процент використання кисню тканинами. Визначають його за формулою
$$КУК = \frac{ABP_{O_a} \times 100}{\text{об.}\% O_{2_A}}$$
 де КУК —

коефіцієнт утилізації кисню, ABP_{O_2} артеріально-венозна різниця (за киснем), об. % O_{2_A} в артеріальній крові. В спокої він дорівнює 30...40%, а при напруженій м'язовій роботі зростає до 50...60%. В постачанні киснем скелетних м'язів і міокарда в період напруженої м'язової діяльності, коли м'язові волокна здавлюють капіляри і в них припиняється кровообіг, бере участь міоглобін, який додатково може зв'язати 1,5 л O_2 . Зв'язок кисню з міоглобіном більш тривкий, ніж з гемоглобіном, тому він віддає кисень при більш низькому pO_2 , в умовах гіпоксії.

Перехід вуглекислого газу із тканин в кров зумовлюється різницею його парціальних тисків в цих середовищах. В тканинах P_{CO_2} дорівнює 67... 80 гПа, в тканинній рідині — 63 гПа, а у венозній крові — 61 гПа.

Регуляція дихання

Підтримання рівноваги між енергетичними потребами організму, окисленням продуктів для утворення енергії і кількістю кисню, що надходить в організм, регулюється нервовими і гуморальними механізмами.

Дихальний центр. Взаємоузгодження діяльності дихальних м'язів, що забезпечують вдих і видих, регулюються дихальним центром. Він розташований в різних ділянках стовбура мозку і має складну будову. Ще Легалуа (1812) і Флурансом (1842) було встановлено, що дихання припиняється, якщо нанести укол в область дна четвертого мозкового шлуночка. Цю ділянку довгастого мозку Флуранс назвав «життєвим вузлом» Н. А. Мисловський (1885), використавши методику електричного подразнення і коагуляції нейронів мозку, прийшов до висновку, що дихальний центр знаходиться в ретикулярній формації довгастого мозку на рівні корінців під'язикового нерва. Дихальний центр ділиться на два взаємозв'язаних підцентри: видиху (експіраторний) і вдиху (інспіраторний).

За допомогою мікроелектродних досліджень було встановлено, що в ретикулярній формації існують «експіраторні» і «інспіраторні» нейрони, тобто нейрони, збудження яких викликає вдих і видих. Інспіраторні нейрони генерують розряд імпульсів на початку вдиху, а потім гальмуються, «експіраторні» збуджуються у фазі видиху. Важливою особливістю цих нейронів є здатність їх до автоматично-періодичної генерації імпульсів, яка лежить в основі ритмічного дихання. Ритмічна генерація імпульсів дихальними нейронами пов'язана з повільно зростаючою деполяризацією їхньої мембрани. Коли деполяризація досягає критичного рівня, нейрон збуджується, генеруючи розряд імпульсів, після чого деполяризація спадає і генерація імпульсів припиняється. Крім дихального центру довгастого мозку в регуляції акту дихання беруть участь і інші відділи центральної нервової системи.

Від дихального центру довгастого мозку ідуть низхідні шляхи до мотонейронів дихальних центрів, розташованих у спинному мозку. Дихальні мотонейрони діафрагмального м'яза і зовнішніх м'язів забезпечують виконання вдиху, а мотонейрони внутрішніх міжреберних м'язів — видих. Дихальні нейрони спинного мозку не здатні до автоматичної генерації імпульсів і виконують команди, що надходять до них по низхідних сітчастоспинномозкових шляхах. У верхніх відділах моста знаходяться дві групи нейронів, що також беруть участь у регуляції дихання. Одна група нейронів виконує функцію розподільника періодичної активності інспіраторних нейронів і дістала назву пневмотаксичного центру. Друга група нейронів здійснює тонічні впливи на дихальний центр довгастого мозку.

Рефлекторна регуляція дихання. Між всіма нервовими структурами, що беруть участь у регуляції дихання, існують взаємо погоджені (реципрокні) відносини. Збудження інспіраторного центру викликає акт вдиху, під час якого виникають імпульси в механорецепторах легень і плеври

та дихальних м'язів. Ці імпульси по аферентних шляхах проходять у дихальний центр і викликають збудження експіраторного підцентру і гальмування інспіраторного. Таким чином, відбувається автоматична зміна вдиху видихом, яка також автоматично регулюється ще пневмотаксичним центром. Він гальмує вдих і одночасно збуджує нейрони експіраторного підцентру. Активність нейронів дихального центру зумовлюється рефлекторними впливами з різних рецепторних зон, а також рефлекторних центрів. Так, існує тісний зв'язок між судиноруховими рефлексамі і диханням. Підвищення тонуусу судин і посилення серцевої діяльності супроводжується паралельним посиленням функції дихання.

Рефлекторні зміни дихання настають під впливом подразнення екстерорецепторів шкіри. Так, больові подразнення супроводжуються зміною ритму дихання. Температурні подразнення гальмують видих.

Змінюють характер дихання і такі рефлекторні реакції травного апарату, як акти ковтання, блювання, дефекації. Тісні зв'язки існують між функцією дихання і емоційними процесами. Такі емоційні прояви людини, як сміх, плач, і є видозміненими дихальними рухами. В цих випадках активність дихального центру змінюється імпульсами, що надходять з верхньої частини стовбура мозку. Ритм і частота дихання можуть у певних межах вільно змінюватись людиною за рахунок впливів з премоторної зони кори великого мозку. Адекватне пристосування дихання до потреб організму від час фізичної роботи здійснюється за механізмом моторно-вісцеральних рефлексів. Імпульси від пропріорецепторів працюючих м'язів рефлекторно підвищують активність дихального центру і, отже, збільшують легеневу вентиляцію.

Таким чином, нервові центри регуляції дихання розташовані на трьох рівнях. Перший рівень знаходиться в спинному мозку, де містяться центри діафрагмального і міжреберних нервів, які забезпечують скорочення міжреберних м'язів і діафрагми. Другий рівень знаходиться в довгастому мозку і забезпечує ритмічну зміну фаз дихання. Третій рівень регуляції здійснює інтеграцію діяльності нервових центрів, розташованих у різних відділах великого мозку, які забезпечують тонке пристосування діяльності дихальної системи відповідно до функціональних потреб організму.

Гуморальна регуляція дихання. Важливу роль у регуляції дихання відіграють продукти обміну речовин. Надходячи в кров, вони збуджують інтерорецептори кровоносних судин, які в свою чергу змінюють активність дихального центру. Основними стимуляторами дихання є вуглекислий таз (CO_2) і водневі іони (H^+). Це особливо яскраво видно на досліді Фредеріка з перехресним кровообігом у собак, суть якого полягає в тому, що кров від тулуба першого собаки потрапляє до голови другого собаки, і навпаки, кров від тулуба другого собаки йде до голови першого собаки. При стисканні трахеї у першого собаки через деякий час спостерігалось збільшення частоти і глибини дихання (диспноє) у другого собаки, тоді як у першого дихання припинилось (апноє). Це явище пояснюється тим, що після стискання трахеї в крові першого собаки збільшився вміст CO_2 і зменшився вміст O_2 . Ця кров

надходила до голови другої собаки, що призвело до збудження дихального центру. Вентиляція легень при цьому збільшилась, внаслідок цього вміст CO_2 у крові зменшився, розвинувся стан гіпокапнії, а вміст O_2 збільшився. Надходження цієї крові до голови першої собаки призводило до зменшення подразнення її дихального центру, а тим самим і вентиляції легень.

При інтенсивній м'язовій роботі в результаті підвищення інтенсивності окисних процесів у крові збільшується вміст CO_2 , молочної кислоти, які збуджують дихальний центр і хеморецептори рефлексогенних зон судин і тим самим підсилюють дихання. Слід відмітити, що чутливість дихального центру до CO_2 досить велика. Збільшення вмісту CO_2 в крові на 0,2% призводить до підвищення вентиляції легень на 100%.

Газообмінна система організму. Постачання тканин киснем і видалення із організму вуглекислого газу здійснюється координованою діяльністю систем дихання, крові і кровообігу. Зміна інтенсивності окисних процесів в організмі і окремих його органах забезпечується відповідними змінами вентиляції легень, кількості циркулюючої крові, перерозподілом її між різними органами і використанням резервів дихальної функції крові. Тому діяльність систем дихання, крові і кровообігу, зв'язану з обміном газів в організмі, об'єднують в єдину функціональну газообмінну систему.

Основними загальними параметрами цієї функціональної системи, що підтримуються на заданому рівні, є парціальні тиски кисню ($p\text{O}_2$) і вуглекислого газу ($p\text{CO}_2$ тканини). Основними факторами в газообмінній системі, що забезпечують організм необхідною кількістю кисню, є хвилиний об'єм крові, хвилиний об'єм дихання, артеріально-венозна різниця і коефіцієнт використання кисню.

Дихання при фізичній роботі

М'язова діяльність є потужним стимулятором інтенсивності окислювальних процесів в організмі. Споживання кисню під час напруженої роботи збільшується в 20...25 разів порівняно із станом спокою. Для забезпечення потреб організму киснем і виділення вуглекислоти паралельно зростає вентиляція легень, яка може досягати у спортсменів 150... 160 л/хв. Збільшення легеневої вентиляції досягається за рахунок частоти, а також глибини дихання. При цьому між легеневою вентиляцією і потужністю виконуваної роботи існує лінійна залежність лише в певних межах. Частота дихання збільшується в лінійній залежності від потужності роботи тільки до 30 ... 35 дихальних циклів за 1 хвилину. Дальше підвищення частоти дихання зменшує ефективність вентиляції, оскільки тривалість дихальних циклів скорочується і об'єм альвеолярної вентиляції зменшується. Дихальний об'єм, особливо у тренуваних спортсменів, при фізичній роботі зростає не лінійно, оскільки збільшення вентиляції легень у них навіть при виконанні легкої роботи відбувається за рахунок збільшення дихального об'єму, а не частоти, дихання. Під час інтенсивної м'язової роботи у тренуваних спортсменів дихальний об'єм зростає з 500 мл до 4 л. Але збільшення дихального об'єму

вище 40... 60% життєвої ємності легень веде до неекономічної роботи дихальних м'язів і зниження ефективності роботи системи дихання в цілому. Слід відмітити, що ритм і глибина дихання значною мірою залежать від характеру фізичних вправ. У таких видах спорту, як біг, плавання, гребля, найбільш сприятливі умови для ритмічно ритмічного і глибокого дихання. Під час виконання вправ з таких видів спорту, як боротьба, гімнастика, важка атлетика і деякі інші, ритм і частота дихання видозмінюються з характером вправ. В процесі спортивного тренування досягається така синхронізація і координація дихання і рухів тіла, яка забезпечує високу, продуктивність роботи рухового апарату і оптимальні умови для дихання.

Споживання кисню при фізичній роботі. Витрати енергії організмом знаходяться в лінійній залежності від величини м'язової роботи. Для енергетичної характеристики м'язової діяльності використовують такі величини, як загальна кількість кисню, необхідна для забезпечення окисних процесів (кисневий запит) і його споживання за 1 хвилину. В стані фізіологічного спокою людина споживає 0,2... 0,3 л кисню за 1 хвилину. Під час напруженої-фізичної роботи у високо тренуваних спортсменів споживання кисню досягає максимального значення 5,5...6,0 л/хв. Абсолютна величина максимального споживання кисню (МСК) за 1 хвилину є досить важливим показником функціонального стану киснево-транспортної системи організму. Але більш точною характеристикою її функціональних можливостей є відношення максимального Споживання кисню до маси тіла (мл/хв•кг). У дорослих нетренованих чоловіків 20... 40 років МСК на 1 кг маси коливається в межах 45... 55 мл/хв. • Кг. У спортсменів, особливо тих, які тренуються на витривалість у циклічних видах спорту (біг на довгі дистанції, плавання, велоспорт, лижні гонки), цей показник значно вищий і досягає 80 мл/хв • кг. Збільшення постачання кисню тканинам при фізичній роботі здійснюється за рахунок мобілізації резервних можливостей різних ланок газообмінної системи організму. Посилення легеневої вентиляції забезпечує підтримання парціального тиску кисню в альвеолах на рівні, достатньому для повного насичення крові киснем. При неважкій фізичній роботі насичення крові киснем досягає 97 ... 98%. Виконання роботи субмаксимальної і максимальної потужності призводить до зниження оксигенації крові до 92 ...90 і навіть до 85%. Це зв'язано із збільшенням вмісту кисню у венозній крові.

Постачання кисню тканинам збільшується також за рахунок підвищення кисневої ємності крові, збільшення об'ємного кровотоку і коефіцієнта використання кисню. Під час фізичної роботи із депо виходить кров з, більшою кількістю еритроцитів, завдяки цьому киснева ємність крові зростає з 20 до 25%. Посилена діяльність серця забезпечує збільшення об'єму кровотоку, тобто кількості крові, яка проходить через судини м'язів за 1 хвилину. А внаслідок різкого зменшення парціального тиску в працюючих м'язах і збільшення дисоціації оксигемоглобіну зростає коефіцієнт утилізації (використання) кисню м'язами з 25 до 75%.

Але навіть при повній мобілізації всіх резервних можливостей газообмінної системи споживання кисню організмом не може перевищувати певної межі, властивої для кожної людини, ступеня її тренованості. Ця межа максимального споживання кисню (МСК) лімітується в першу чергу можливостями серцево-судинної системи забезпечити необхідну кількість крові для транспорту кисню.

Кисневий борг. На початку м'язової роботи внаслідок певної інерційності киснево-транспортна система не може забезпечити м'язи необхідною кількістю кисню. Тому в цей період м'язи одержують необхідну їм енергію за рахунок анаеробних (безкисневих) реакцій і використання запасу кисню в гемоглобіні і міоглобіні. В зв'язку з тим що кисневий запит перевищує дійсне постачання кисню, утворюється кисневий борг. Величина його залежить від потужності і тривалості роботи. При неважкій роботі кисневий борг, утворений на її початку, невеликий і більша його частина ліквідується в процесі виконання роботи, коли встановлюється сталий стан. В тих випадках, коли кисневий запит під час інтенсивної роботи значно перевищує максимальне споживання кисню, кисневий борг, який може досягати 15 ...20 л, ліквідується у відновному періоді. Слід зазначити, що максимальна величина кисневого боргу у нетренованих людей становить не більше 10 л, тоді як у добре тренованих спортсменів вона може досягати 15...20 л.

Вікові особливості системи дихання

Всі дихальні шляхи у дітей значно коротші, ніж у дорослих. Носові ходи вузькі. Слабо розвинуті додаткові порожнини носа. Носоглотка коротка і широка. Тому повітря мало зігрівається і очищається в ній. Проникаючи в бронхи і легені, холодне повітря може викликати запалення їх. Ріст дихальних шляхів і легень найбільш інтенсивно відбувається в перші 7 років життя і в період статевого дозрівання, досягаючи розмірів легень у дорослих у 17...18 років. Загальна кількість альвеол до 8 років збільшується в 12 разів і майже відповідає кількості альвеол дорослої людини – близько 300 млн. Розміри альвеол починають інтенсивно збільшуватися лише після 8 років. Альвеолярна поверхня легень у віці 8 років майже в два рази менша, ніж у дорослих. Невелика альвеолярна поверхня зумовлює меншу дифузійну здатність легень.

У хлопчиків органи дихання більші за розмірами, ніж у дівчаток. Ці статеві відмінності починають проявлятися уже з 7 років. З цього ж віку виникають статеві відмінності і в типах дихання: у хлопчиків формується діафрагмальний тип дихання, а у дівчаток — грудний. Частота дихання з віком зменшується і становить в 1 рік 30... 35 дихальних рухів за 1 хвилину, в 5 років — 25, в 10 років 20 ... 22, в 15 років — 18... 20 дихальних рухів за хвилину.

У процесі росту і розвитку дітей зменшуються як абсолютні показники легневих об'ємів, так і співвідношення між ними. Так, життєва ємність

легень збільшується в більшій мірі, ніж залишковий об'єм. Збільшення ЖЄЛ відбувається в основному за рахунок резервного об'єму вдиху. Величина ЖЄЛ у дітей одного віку коливається значних межах: 5 років — 790... 1290 см³, в 10 років — 1360... 2300, в 15 років — 3300 ... 4500 см³.

Дихальний і хвилинний об'єми з віком поступово збільшуються. Але слід відмітити, що відносний об'єм дихання (ХОД на 1 кг маси тіла) у дітей значно більший. Наприклад, у віці 5 років вентиляція легень у спокої дорівнює 200 см³ на 1 кг маси тіла, що в 2 рази більше, ніж у дорослих. Це пов'язано з високим рівнем обміну речовин і великою потребою організму в кисні.

Розвиток дихальної системи значною мірою залежить від занять спортом. Особливо сприятливо впливають на функціональний стан системи дихання такі види спорту, як плавання, лижі, гребля, біг, а також спортивні ігри.

Збільшення вентиляції легень у дітей під час фізичної роботи відбувається більшою мірою за рахунок частоти дихання, а не збільшення дихального об'єму. Тому економічність роботи дихальної системи у дітей нижча, ніж у дорослих. Відновлення параметрів системи дихання після короткочасних фізичних навантажень у дітей молодшого віку відбувається швидше, ніж у старших школярів.

Здатність підтримувати високий рівень функціонування дихальної системи при інтенсивних тривалих фізичних навантаженнях більша у старших школярів. Слід відмітити, що з віком зростають функціональні можливості і удосконалюється регуляція діяльності всієї газообмінної системи організму, внаслідок чого економічність і ефективність її роботи значно підвищуються. Заняття фізичною культурою і спортом є основним фактором, що сприяє зростанню функціонального стану дихального апарату і газообмінної системи в цілому. Так, наприклад, якщо абсолютна величина максимального споживання кисню з віком хоч і нерівномірно, але збільшується з 1 л/хв в 5 років до 4 л/хв в 18... 20 років, то відношення МСК до маси тіла у дітей і нетренованих юнаків практично однакове — .45 ... 50 мл/хв • кг. В той же час у підлітків, що займаються спортом, споживання кисню на 1 кг маси тіла значно вище і досягає 75 мл/хв • кг.

Контрольні питання

1. Дати визначення поняттю дихання.
2. Охарактеризуйте дихальний апарат людини.
3. Що таке зовнішнє дихання?
4. Основні етапи процесу дихання.
5. Особливості будови легень.
6. Охарактеризуйте механізми газообміну в легенях та тканинах.

7. Опишіть легеневі об'єми та їх зміни в залежності від віку, ваги тіла, статі людини.
8. Як відбувається вентиляція легень?
9. Опишіть механізми транспорту газів кров'ю.
10. Як відбувається регуляція дихання?
11. Охарактеризуйте особливості дихання при фізичній роботі.
12. Назвіть вікові особливості дихальної системи.

ЛІТЕРАТУРА

1. Солодков А.В., Сологуб Е.Б. Физиология человека: Общая. Спортивная. Возрастная.- М.: «Терра –Спорт», «Олимпия –Пресс», 2001.-520 с.
2. Бабский Е.Б., Зубков А.А., Косицкий Г.И., Ходоров Б.И. Физиология человека.- М.: “Медицина”, 1992. –655 с.
3. Кучеров І.С., Шабатура М.Н., Давиденко І.М. Фізіологія людини. – К.: “Вища школа”, 1991. – 340 с.
4. Кучеров І.С. Фізіологія людини і тварин.- К.: “Вища школа”. –1991.-320с.
5. Фомин Н.А. Физиология человека. -М.: “Просвещение”, 1982.
6. Физиология человека / Под.ред. Н.В. Зимкина./- М.: “Фізкультура и спорт”, 1975. – 382 с.
7. Ноздрачев А.Д. Общий курс физиологии человека и животных, т.1,2 – М.: “Высшая школа», 1991.-417с.
8. Нормальная физиология / Под.ред. А.В.Коробкова./- М.: «Высшая школа», 1980.- 412 с.
9. Хрипкова А.Г., Антропова М.В., Фарбер Д.А. Возрастная физиология и школьная гигиена - М.: «Просвещение», 1990. – 423 с.
10. Леонтьева Н.Н., Маринова К.В. Анатомия и физиология детского организма. М.: «Просвещение», - 1986. –278 с.
11. Старушенко Л.І. Анатомія та фізіологія людини.- К.: «Вища школа», 1992.- 378 с.
12. Хрипкова А.Г. Вікова фізіологія. – К.: «Вища школа» – 1982. – 290 с.
13. Ермолаев Ю.А. Возрастная физиология. – М.: « Высшая школа.» – 1986.- 420 с.
14. Физиология человека / Под ред. Р.Г. Шмидта и Г. Тевса/ –М.: «Мир», 1985., Ч.1-4, - 530 с.