

Лекція №5

Біофізика дихальної системи

План

1. Будова та основні функції дихальної системи.
2. Газообмін у легенях і тканинах.
3. Склад вдихуваного, видихуваного та альвеолярного повітря.
4. Механізм дихання людини.
5. Функціональність і тестування дихальної системи людини.
6. Методи та засоби дослідження зовнішнього дихання.

Будова та основні функції дихальної системи

Дихальна система людини – сукупність органів, що забезпечують в організмі людини зовнішнє дихання, або обмін газів між кров'ю та зовнішнім середовищем і деякі інші функції. Газообмін виконується легенями і в нормі напрямлений на поглинання із вдихуваного повітря кисню та виділення в зовнішнє середовище утвореного в організмі вуглекислого газу. Крім того, дихальна система бере участь у таких важливих функціях, як терморегуляція, генерація звуків, нюх, зволоження вдихуваного повітря. Легенева тканина також відіграє важливу роль у таких процесах, як синтез гормонів, водно-сольовий і ліпідний обміни. У густорозвиненій судинній системі легенів відбувається депонування крові. Дихальна система також забезпечує механічний та імунний захист від факторів зовнішнього середовища. Загальні відомості про будову дихальної системи. Диханням називають комплекс процесів, що забезпечує вживання кисню тканинами організму та виділення вуглекислого газу. Дихання є необхідною умовою життєдіяльності людини, тварин, рослин та їх енергетичних перетворень. В умовах спокою, наприклад, у процесі розумової діяльності у середньому за кожну хвилину організм має одержувати 250...300 мл кисню та виділяти 200...250 мл вуглекислого газу. Під час фізичного навантаження потреба в кисні істотно зростає і досягає в

нетренованих людей – 2...3 л/хв, у тренуваних – 4...6 л/хв. Дихальна система поєднує органи, які виконують повітроносну (порожнину рота, носоглотку, гортань, трахею, бронхи) і дихальну або газообмінну функції (легені). Основна функція органів дихання – забезпечення газообміну між повітрям і кров'ю дифузією кисню та вуглекислого газу через стінки легеневих альвеол у кровоносні капіляри. Крім того, органи дихання беруть участь у звукоутворенні, виробленні деяких гормоноподібних речовин, підтриманні імунітету тощо. У повітропровідних шляхах відбувається очищення, зволоження, зігрівання вдихуваного повітря, а також сприйняття заходу, температурних і механічних подразників. Характерною особливістю будови дихальних шляхів є наявність хрящової основи. Із зменшенням калібру бронхів їх хрящі поступово змінюють форму: спочатку це півтільца, потім хрящові пластини, які зовсім зникають у бронхіолах. Внутрішня поверхня дихальних шляхів покрита слизуватою оболонкою – епітелієм з великою кількістю залоз, що виділяють слиз. Трахея являє собою непарний орган, через який у легені надходить повітря і навпаки. Вона має вигляд трубки завдовжки 9...10 см. У грудній порожнині трахея ділиться на дві головні бронхи, які входять у праву та ліву легені. Довжина бронхів становить 3...5 см. Внутрішня поверхня трахей вистелена слизуватою оболонкою, що містить слизуваті залози. Легені – це головний орган дихальної системи. Права та ліва легені розміщені в грудній порожнині. Кожна легеня борознами поділяється на частини: права – на три, ліва – на дві. Кожна легеня складається з розгалужених бронхів, які утворюють бронхіальне дерево й систему легеневих пухирців. Головні бронхи поділяються на сегментарні, субсегментарні частинкові і внутрішньочастинкові. У легенях налічується близько 20 тис. кінцевих бронхіол, які закінчуються альвеолярними ходами або альвеолярними мішечками. Кількість альвеол становить 300...350 млн, а загальна площа їх поверхні – 80 м². Процес дихання містить у собі п'ять основних етапів: 1. Зовнішній подих, або вентиляція легенів – обмін газів між альвеолами легенів і атмосферним повітрям. 2. Обмін газів у легенях між

альвеолярним повітрям і кров'ю. 3. Транспорт газів кров'ю від легенів до тканин і вуглекислого газу від тканин до легенів. 4. Обмін газів між кров'ю капілярів великого кола кровообігу та клітинами тканин. 5. Внутрішній подих – біологічне окиснення в мітохондріях клітки. Вентиляцією легенів називають процес відновлення газового складу альвеолярного повітря, що забезпечує надходження в них кисню й виведення вуглекислого газу. Вентиляція легенів відбувається завдяки дихальним рухам, які забезпечують механічне переміщення повітря. Інтенсивність вентиляції визначається глибиною вдиху й частотою дихання. Вентиляція легенів створюється різницею тиску між альвеолярним і атмосферним повітрям. У разі вдиху тиск в альвеолярному просторі значно знижується (за рахунок розширення грудної порожнини) і стає меншим від атмосферного, тому повітря з атмосфери надходить у повітроносні шляхи. За рахунок цього відбувається обмін газами, що зумовлює видалення чергової порції повітря з легенів.

Газообмін у легенях і тканинах. Робота дихання Порожнина носа має добре виражену здатність підвищувати температуру холодного повітря за рахунок теплообміну його із кров'ю судин слизуватої оболонки. У разі носового дихання температура повітря в температури навколишнього повітря. Верхні дихальні шляхи регулюють вологість вдихуваного повітря. Така здатність слизової оболонки носа дозволяє розглядати її як фізіологічний кондиціонер, який забезпечує нормальне функціонування нижніх дихальних шляхів. Якщо вдихати повітря, до якого домішані частинки диму, газу, що має різку подразнювальну дію, або речовин, що гостро пахнуть, відбувається рефлекторне вповільнення й навіть зупинення дихання. Ці рефлекси захищають нижні дихальні шляхи та легені від проникнення в них більших кількостей подразнювальних речовин. Механічні та хімічні роздратування рецепторів дихальних шляхів викликають захисні рефлекси (кашель, чхання), які активно видаляють шкідливі домішки, що вже потрапили в дихальну систему і сторонні предмети. Роблячи вдих і видих, людина вентилює легені,

підтримуючи в альвеолах відносно сталий склад газів. Людина дихає атмосферним повітрям з великою масовою часткою кисню (20,85 %) і низьким умістом вуглекислого газу (0,03 %), а видихає повітря, в якому кількість кисню зменшується, а вуглекислого газу – збільшується.

Повітря об'ємна частка, % (мм. рт. ст.) кисню вуглекислого газу азоту води
 Вдихуване 20,85(160) 0,03(0,2) 78,62(596) 0,5(3,8) Видихуване 15,5(120)
 3,7(27) 74,6(566) 6,2(47) Альвеолярне 13,5(104) 5,3(40) 74,9(569) 6,3(47) Як
 видно, склад альвеолярного повітря відрізняється від вдихуваного і
 видихуваного. Це пояснюється тим, що під час вдиху в альвеоли надходить
 повітря з повітроносних шляхів (тобто видихуване), а під час видиху,
 навпаки, до видихуваного та альвеолярного домішується атмосферне
 повітря, яке міститься в тих самих повітроносних шляхах (об'єм «мертвого»
 простору). На склад альвеолярного повітря також впливає альвеолярна
 вентиляція. Альвеолярна вентиляція — це частина загальної вентиляції
 легень, що досягає альвеол. Її визначають за формулою $V_f V_a - V_d = -$, де
 f – частота дихання; V_t – об'єм дихання; V_d – альвеолярний мертвий простір.
 Також можна вирахувати і об'єм альвеолярної вентиляції за одну хвилину.
 Його розраховують за формулою $V_a - V_d f V_a = -$ де V_a – об'єм дихання за
 одну хвилину; V_d – альвеолярний мертвий простір; V_0 – загальна легенева
 вентиляція. У легенях кисень з альвеолярного повітря переходить у кров, а
 вуглекислий газ із крові – в легені шляхом дифузії крізь стінки альвеол і
 кровоносних капілярів. Робота дихання – це показник, за допомогою якого
 оцінюють роботу дихальних м'язів. Роботу дихання можна визначити так: $W = PV =$,
 де W – робота дихання; P – тиск у легенях; V – об'єм легень. При
 цьому реєструється діаграма «тиск–об'єм» у вигляді «дихальної петлі»,
 площа якої і буде дорівнювати величині роботи дихання. У диханні людини
 беруть участь не тільки легені, але й уся поверхня тіла, тобто шкіра. Шкіра на
 грудях, спині та животі за інтенсивністю дихання значно перевищує легені: з
 одиниці її поверхні може поглинатися на 28 % більше кисню, а виділятися на

54 % більше вуглекислого газу, ніж поверхні в легенів. Це явище пояснюється тим, що шкіра «дихає» чистим повітрям, а легені (порівняно зі шкірою) провітрюються гірше. Ось чому такі корисні повітряні ванни, а також гігієна тіла. Проте загальна поверхня тіла людини (усього не більше двох квадратних метрів) порівняно із сумарною поверхнею альвеол мала і робить незначний внесок до спільної діяльності легенів і шкіри. Газообмін у легенях можна змодельовати за допомогою мембранної теорії, розглядаючи дифузійні процеси. Наявність тонкого шару рідини, що зсередини покриває поверхню альвеол, істотно змінює його механічні властивості. Причиною тут є поверхневий натяг шару рідини. Таким чином, еластичність легенів значною мірою залежить від сил поверхневого натягнення. Близько 30 тис. разів на добу розтягуються легені людини в процесі дихання, виконуючи при цьому механічну роботу, що становить 2...25 % (залежно від продовжуваної людиною діяльності) від усіх її енергетичних витрат. Ця енергія витрачається здебільшого на розтягування легенів і просування повітря по дихальних шляхах до альвеол. Порожнина носа влаштована природою так, щоб створювався турбулентний (завихрений) потік повітря. А турбулентні потоки, як відомо, потребують більшої витрати енергії для транспортування. Але турбулізація виправдовується. Вона необхідна для того, щоб зігрівати повітря, що надходить через ніс, і відокремлювати порошок. От чому слід дихати носом, а не ротом. Задихана людина, дихаючи ротом, легко може простудитися. Одним з найважливіших функціональних параметрів легенів є їх дифузійна здатність. Тільки за достатньо високого його значення забезпечується нормальне насичення крові киснем у стані як спокою, так і фізичного навантаження.

Механізм дихання людини. Дихальні рухи Повітря в дихальних шляхах рухається ритмічно – вдихом і видихом Новонароджені роблять близько 60 дихальних рухів за хвилину, дорослі – 16...18. Вдих (інспірація). Під час вдиху грудна клітка збільшується завдяки опусканню діафрагми та підйманню ребер. Діафрагма – грудочеревна перепона. Вона має вигляд

поперечно розміщеної куполоподібної м'язово-сухожилкової пластинки, краї якої прикріплені до стінок грудної клітки, яка опускається завдяки скороченням посмугованих м'язових волокон, що робить купол більш плоским. Під час опускання діафрагми органи черевної порожнини переміщуються вниз і вперед, що супроводжується рухами стінки живота. Крім діафрагми, зовнішніх міжреберних м'язів у процесі вдиху беруть участь міжхрящові м'язи трахеї, бронхів. Під час глибокого вдиху грудна порожнина розширюється більше, ніж під час спокійного. Глибокий вдих здійснюється одночасним скороченням міжреберних м'язів, діафрагми, а також деяких (трапецієподібного, ромбоподібного, великого та малого грудних та ін.) м'язів грудей та плечового пояса, які підіймають ребра вище, ніж під час спокійного вдиху. Описаний механізм забезпечує збільшення об'єму грудної клітки, що зумовлює відтягування пристінкової плеври. Легенева плевральна оболонка присмоктується до пристінкової і теж розтягується, розтягуючи у свою чергу пружну легеневу тканину. В результаті об'єм легень збільшується і наповнюється повітрям з дихальних шляхів. Так відбувається вдих, при цьому переборюються такі опори: еластична тяга легень, опір реберних хрящів, маса грудної клітки, що підіймається вгору, опір черевних органів та стінок живота. Видих (експірація). Видих – це процес розслаблення дихальних м'язів після завершення вдиху та повернення грудної клітки до вихідного положення. Спокійний видих відбувається пасивно, без участі м'язів. Під час глибокого чи форсованого видиху до еластичних сил, що опускають ребра, додається скорочення внутрішніх міжреберних м'язів і м'язів живота, що із силою відштовхують черевні органи і діафрагму вгору. Внаслідок цього ребра ще більше опускаються, купол діафрагми випинається, грудна порожнина зменшується більше, ніж під час спокійного видиху. У різний час у людини в процесі дихання можуть брати участь переважно або м'язи діафрагми, або міжреберні м'язи. Якщо переважає участь міжреберних м'язів, то такий тип дихання називають грудним. Якщо ж переважають діафрагмальні м'язи, то

таке дихання називають діафрагмальним, або черевним. Тип дихання також залежить від статі: черевний переважає у чоловіків, грудний – у жінок. Максимальна кількість повітря, яку людина може видихнути після найглибшого вдиху, називають життєвою ємністю легень. У стані спокою людина вдихає і видихає в середньому близько 500 мл повітря – це дихальний об'єм. Об'єм повітря в легенях і дихальних шляхах залежить від таких факторів: 1) антропометричних індивідуальних показників людини і дихальної системи; 2) властивостей легеневої тканини; 3) поверхневого натягу альвеол; 4) сили, що розвивається дихальними м'язами. Із 500 мл повітря, яке вдихає людина, тільки 350 мл потрапляє до альвеол. У середньому 150 мл (для людини масою 75 кг) затримується в так званому мертвому просторі: у порожнинах носа, ротовій частині глотки, гортані, трахеї і бронхах (тут немає газообміну). Для розрахунку точного об'єму повітря в мертвому просторі користуються формулою $V_{\text{м}} = \frac{a \cdot b \cdot c \cdot d \cdot e \cdot f}{g}$. Після спокійного вдиху за максимального зусилля можна ще вдихнути близько 1,5 л повітря – це додаткове повітря (додатковий об'єм), а найглибший видих може становити 1,5 л – це резервне повітря (резервний об'єм). Дихальне, додаткове і резервне повітря і становлять у сумі життєву ємність легень. Її показники коливаються від 3500 до 4800 мл у чоловіків і від 3000 до 3500 мл у жінок. Життєва ємність легень фізично-тренуваних осіб досягає 6000...7000 мл. Життєва ємність легень – показник фізичного розвитку людини, її визначають за допомогою спірометра. Особливості дихання в різних умовах. У гірській місцевості зі збільшенням висоти через падіння атмосферного тиску знижується парціальний тиск кисню в альвеолярному просторі. Коли цей тиск стає нижчим ніж 50 мм рт. ст. (5 км висоти), необхідно дихати газовою сумішшю, у якій підвищений вміст кисню. На висоті 9 км парціальний тиск в альвеолярному повітрі падає до 30 мм рт. ст. За такого барометричного тиску парціальний тиск кисню в альвеолярному повітрі становить 140 мм рт. ст., що створює більші можливості для газообміну. На висоті 12 км при вдиху звичайного повітря альвеолярний тиск дорівнює 16

мм рт. ст. настає смерть, а при вдиху чистого кисню – лише 60 мм рт. ст., тобто дихати ще можна, але вже небезпечно. У цьому випадку можна подавати чистий кисень під тиском і забезпечити дихання на висоті 18 км. Подальше підняття можливе тільки в скафандрах. Однією з небезпек опускання у водне середовище є атмосферний тиск. Наприклад, на глибині 10 м тиск дорівнює дві атмосфери, на глибині 20 м – три атмосфери і т.д. У цьому випадку парціальний тиск газів в альвеолярному повітрі відповідно підвищується в два і три рази. Це загрожує надмірному розчиненню кисню. Але надлишок його не менш шкідливий для організму, ніж нестача. Тому один зі способів зменшення цієї небезпеки – використання газової суміші, у якій вміст кисню зменшений. Наприклад, для глибини 40 м суміш має містити 5 % кисню, для глибин 100 м – 2 %. Друга небезпека – вплив азоту. Коли парціальний тиск азоту підвищується, то це призводить до збільшеного розчинення азоту в крові й викликає наркотичний стан. Тому, починаючи із глибини 60 м, азотно-кисневу суміш замінюють геліокисневою сумішшю. Гелій менш токсичний. Він починає справляти наркотичний ефект лише на глибині 200...300 м. У цей час геліокиснева суміш дозволяє водолазу працювати на глибинах до 700 м. Проводять дослідження з використання воднево-кисневих сумішей для роботи на глибинах до 2 км, оскільки водень дуже легкий газ. Це полегшує роботу дихальної мускулатури – зазвичай на глибинах збільшується густина газу й тому зростає аеродинамічний опір подиху. Третя небезпека водолазних робіт – це декомпресія. Якщо швидко підніматися із глибини, то розчинені в крові гази скипають і спричиняють газову емболію – закупорення судин. Тому потрібна поступова декомпресія. Наприклад, підняття із глибини 300 м потребує дво тижневої декомпресії.

Функціональність і тестування дихальної системи людини. Тести подають інформацію про стан системи подиху. Під час тесту з навантаженням визначається й оцінюється здатність системи дихання спортсмена пристосовуватися до фізичного навантаження. Незадовільні результати тестів можуть свідчити про низький рівень фізичної підготовки

або захворювання дихальної чи серцево-судинних систем. Чим вищі ці показники, тим краще організм забезпечується киснем – більша його витривалість. Під час тренувань значно збільшується частота дихання. Якщо у стані спокою цей показник становить 12–18 дихальних рухів (циклів вдих-видих) за хвилину, то під час роботи він досягає 40–90 залежно від інтенсивності. Також збільшується й глибина дихання. Якщо в спокої глибина дихання (об'єм повітря, вдихуваного або видихуваного за один вдих або видих) становить 0,5 л, то під час напруженої м'язової роботи вона збільшується до 2...3 л. Розширюються кровоносні судини легень і дихальних шляхів (а також дихальних м'язів). Підвищується швидкість кровотечі по судинах цих органів. Діяльність дихальної системи під час роботи (разом з діяльністю серцево-судинної системи, системи крові та інших систем) збільшує споживання організмом кисню в кілька десятків разів. Так, у спокої організм споживає 250...350 мл кисню за хвилину, а в разі граничної м'язової роботи цей показник може досягати 4 л за хвилину. У результаті систематичних занять фізичними вправами відбуваються певні зміни в дихальній системі, які сприяють збільшенню споживання організмом кисню під час м'язової роботи. Підвищуються сила дихальних м'язів і максимальні вдих або видих. У результаті за один дихальний рух у легені може надійти більша кількість повітря. Збільшуються загальна і життєва ємності легенів, що беруть безпосередню участь в обміні газами між повітрям і кров'ю. Якщо порівняти дихальну систему людини, що регулярно займається фітнесом, і людини з нетренованим організмом під час виконання м'язової роботи, то можна бачити головну розбіжність: діяльність дихальної системи аматорів фізичної культури збільшується за рахунок збільшення глибини дихання, нетренованих – переважно за рахунок збільшення частоти дихання. В останньому випадку дихальні м'язи працюють із більшим напруженням, що призводить до їх швидкого стомлення й відмови від роботи. У осіб, що займаються спортом, під час м'язової роботи значно збільшується поверхня легенів, більше кровоносних судин, які беруть участь

у газообміні. Таке саме навантаження на тренований організм знижують діяльність дихальної системи, ніж на нетренований (оскільки легені тренованого організму більші, у них збільшена кількість кровоносних судин, а також поверхня легенів, що беруть участь у газообміні). У процесі тренувань підсилюється робота гладкої мускулатури дихальних шляхів (трахеї, бронхів). Це сприяє більш швидкому виведенню мокротиння із цих органів, що у нормі утворюються в кожній людині. Якщо мокротиння затримується в легенях і дихальних шляхах, створюються сприятливі умови для розвитку інфекцій, а якщо вони швидко виводяться, знижується ризик інфекційних захворювань органів дихання. Саме тому люди, які регулярно займаються фітнесом, рідше хворіють на респіраторні захворювання. Органи дихання забезпечують газообмін, насичуючи тканини організму людини киснем і звільняючи їх від вуглекислого газу, а також беруть участь у нюханні, голосоутворенні, водно-сольовому й ліпідному обміні, утворенні деяких гормонів. У дихальному апараті легені виконують газообмінну функцію, а порожнина носа, носоглотка, гортань, трахея та бронхи – повітроносна. Потрапляючи у повітроввідні шляхи, повітря зігрівається, очищається і зволожується. Крім того, тут відбуваються температурні, механічні і нюхові подразнення.

Методи та засоби дослідження зовнішнього дихання Для оцінювання вентиляційної функції легенів, стану дихальних шляхів застосовують різні методи. Пневмографія – реєстрація рухів грудної клітки під час дихальних рухів. Її проводять методом трансформації зміни лінійних переміщень грудної клітки в механічний або електричний сигнал. Пневмограма дозволяє оцінити кількість дихальних рухів за одиницю часу, однак метод не дозволяє оцінити розміри і об'єм легенів. Спірометрія – реєстрація функції легенів у часі змін їх об'єму у процесі дихання (рис. 4.21, а). Використовують різні конструкції спірометрів – водяні, повітряні. Є різні спірографи (Метатест-1), які дозволяють графічно зобразити об'єм повітря, що проходить через легені.

Література

- *Літнарівич Р.М.* Фізика з основами геофізики. Курс лекцій. МЕНУ, Рівне, 2007.-78 с.
- *Літнарівич Р.М.* Фізика з основами геофізики. Лабораторний практикум. Частина 1. МЕНУ, Рівне, 2007.-44с.
- *Літнарівич Р.М.* Фізика з основами геофізики. Лабораторний практикум. Частина 2. МЕНУ, Рівне, 2008.-48с.

Сибіль М. Г.