

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ХЕРСОНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ФАКУЛЬТЕТ БІОЛОГІЇ, ГЕОГРАФІЇ ТА ЕКОЛОГІЇ  
КАФЕДРА БІОЛОГІЇ ЛЮДИНИ ТА ІМУНОЛОГІЇ**

**Функціональні резерви системи зовнішнього дихання  
старшокласників**

Кваліфікаційна робота (проєкт)

на здобуття ступеня вищої освіти “бакалавр”

Виконала: студентка 05-411-з групи

Спеціальності 091 Біологія

Освітньо-професійної програми

Біологія

Дворецька Інна Віталіївна

Керівник: кандидат біологічних наук,

доцент Гасюк О.М.

Рецензент: кандидат біологічних наук,

доцент Карпучіна Ю.В.

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b> .....	3
<b>РОЗДІЛ 1. Огляд літературних джерел</b> .....	5
1.1. Дихальні об'єми та легенева регуляція .....	5
1.2. Поняття про резерви дихальної системи .....	14
1.2.1. Механічні процеси в легенях.....	14
1.2.2. Механізм видиху.....	17
1.2.3. Розтяжність легень.....	18
1.2.4. Робота дихальних м'язів.....	19
1.3. Фактори, що впливають на функціональні можливості дихальної системи .....	22
<b>РОЗДІЛ 2. Матеріали і методи дослідження</b> .....	29
2.1. Організація дослідження.....	28
2.2. Методи оцінки вегетативного статусу людини .....	28
<b>РОЗДІЛ 3. Аналіз отриманих результатів</b> .....	33
3.1. Показники затримки дихання на видиху у старшокласників	33
3.2. Показники затримки дихання на вдиху у старшокласників..	35
<b>ВИСНОВКИ</b> .....	39
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ</b> .....	40

## ВСТУП

*Актуальність теми.* Однією з найважливіших функцій організму людини є дихальна (респіраторна), яка забезпечує газообмін між вдихуваним атмосферним повітрям і кров'ю, що циркулює по малому колу кровообігу. Газообмін здійснюється в альвеолах легенів, і в нормі спрямований на отримання з атмосферного повітря кисню і виведення у навколишнє середовище вуглекислого газу, який утворився в організмі під час життєдіяльності [2; 34].

Актуальність дослідження стану здоров'я та оцінка рівня функціонування та ступеня зрілості різних систем організму в учнівської молоді в першу чергу визначається значимістю проблеми формування здорового населення країни, що визначений як одне із завдань пріоритетного наукового проекту в галузі охорони здоров'я [19, 21, 23].

За даними Міністерства охорони здоров'я України, на даний час майже 90% осіб молодого віку, які навчаються у школі чи інших закладах освіти, мають відхилення у здоров'ї, більш ніж 50% мають погану та середню фізичну підготовку. За останні п'ять років захворюваність дітей 7-14 років збільшилася майже на 35%. Зменшується кількість здорових школярів з 43% (у молодшій школі) до 10% (у старшій школі). Також зростає загальна дитяча інвалідизованість [11, 30]. Треба, також, відзначити, що у структурі загальної захворюваності дітей друге місце посідають хвороби органів дихання – 22,7% [11, 30].

Зважаючи на вищевикладене, функціональних особливостей системи зовнішнього дихання старшокласників є доцільним та потребує детального розгляду.

*Мета дослідження.* Дослідити функціональні резерви системи зовнішнього дихання старшокласників.

*Об'єкт дослідження.* Показники зовнішнього дихання людини.

*Предмет дослідження.* Функціональні показники зовнішнього дихання у старшокласників.

Згідно мети, об'єкту та предмету ми розробили *завдання дослідження*:

1. Дослідити показники затримки дихання старшокласників на вдиху;
2. Дослідити показники затримки дихання старшокласників на видиху.

*Методи дослідження.* Використовувалися наступні методи: аналіз наукової літератури з тематики роботи; експериментальне дослідження функціональних показників системи дихання за методиками Генче, Штанге та Серкіна; методи математичної статистики.

*Практична новизна.* Отримані експериментальні відомості доцільно застосувати у освітньому процесі Херсонського державного університету при викладанні курсів «Методика викладання основ здоров'я», «Вікова фізіологія і валеологія». Також матеріали і методики дослідження можна використовувати у шкільному курсі біології 8 класу як прості та інформативні дослідження показників стану здоров'я учнів.

*Апробація результатів дослідження.* Результати досліджень обговорювалися під час виступів на наукових семінарах кафедри біології людини та імунології Херсонського державного університету у 2019-2020 роках.

*Структура роботи.* Робота складається із вступу, огляду літературних джерел, опису матеріалів і методів дослідження, аналізу та обговорення отриманих результатів, висновків та списку використаних джерел із 42 найменувань. В роботі міститься 9 рисунків та 7 таблиць.

## РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

### 1.1. Дихальні об'єми та легенева регуляція

Легенева вентиляція, а точніше її величина визначається частотою дихальних рухів та глибиною дихання. Як і інші функції організму, легенева вентиляція має кількісні та якісні характеристики. Кількісною характеристикою легеневої вентиляції вважають хвилинний об'єм дихання (ХОД), тобто об'єм повітря, який інспірується через легені за 1 хвилину. У спокійному положенні людина здійснює приблизно 16 дихальних рухів за 1 хвилину. За цей час із легенів видихається близько 500 мл повітря. Помноживши частоту дихання за одну хвилину на показник дихального об'єму, можна отримати хвилинний об'єм дихання (у людини в стані спокою він становить приблизно 8 л за хвилину [37]).

Також, однією із характеристик дихальної функції є максимальна вентиляція легенів, тобто об'єм повітря, який людини пропускає через свої легені за 1 хвилину в той час коли робить максимальні за частотою та глибиною дихальні рухи. Такий тип дихання виникає, коли людини інтенсивно працює, коли знаходиться в умовах гіпоксії (за певних умов нестача вмісту  $O_2$ ), коли знаходиться в умовах надлишку  $CO_2$  (гіперкапнія) у вдихаємому повітрі. Показано, що в цих умовах хвилинний дихальний об'єм може сягнути 150 - 200 л за 1 хвилину [27].

Об'єм повітря в легенях і дихальних шляхах не є постійною величиною: він залежить від багатьох об'єктивних і суб'єктивних факторів, зокрема від конституційної будови; віку; статі; еластичних властивостей тканини легенів, наявності достатньої кількості сурфактантів для забезпечення нормального поверхневого натягу альвеол; сили дихальних м'язів; еластичності хрящів, що знаходяться між

ребрами та грудиною та між ребрами та хребтом; нормального стану іннервації дихальних м'язів, психоемоційного стану людини тощо [27].

Для того, щоб оцінити вентиляційні функції легень, стан верхніх дихальних шляхів, для визначення паттерну дихання застосовують різноманітні методики дослідження. Назвемо лише деякі: спірометрія, пневмоскрінування, пневмографія, спірографія [1]. Наприклад, використовуючи спірометр ми маємо змогу визначити та записати ті обсяги повітря, які проходять через верхні і нижні повітроносні шляхи людини. Слід зауважити, що при спокійному диханні (вдиху і видиху) через альвеоли проходить досить невеликий об'єм повітря (якщо порівнювати із максимальними величинами). Такий об'єм, що достатній для забезпечення мінімальних вимог у кисні, має назву «дихальний обсяг», який у дорослого чоловіка масою 80 кг та зростом 180 см становить приблизно 500 мл. Ще слід зауважити, що при такому диханні акт вдиху відбувається швидше, ніж акт видиху. Зазвичай за 1 хвилину відбувається 12- 16 дихальних циклів. Такий тип дихання має назву називається «епное» або «хороше дихання» [1, 33].

Якщо людина здійснює глибокий (форсований) вдих то вона може додатково вдихнути ще деяку кількість повітря. Це так званий резервний об'єм вдиху, тобто той максимальний обсяг повітря, яке здатна вдихнути нормальна людина після здійснення спокійного вдиху. Величина цього резервного об'єму вдиху у дорослого становить приблизно 1,8 - 2,0 л, але ця величина може змінюватися. Зауважимо, що при форсованому видиху (після спокійного видиху) можна ще додатково видихнути певний об'єм повітря. Це, так званий, резервний об'єм видиху. Його величина в середньому складає 1,2 - 1,4 л [36].

Об'єм повітря, який залишається в легенях після максимального видиху (а також в легких мертвої людини), це залишковий об'єм легенів (так званий мертвий об'єм). Його величина (залишкового об'єму) приблизно складає 1,2 - 1,5 л. Існують певні розбіжності у величині

даного показника, які залежать, наприклад, у людей які народилися і виростили в умовах високогір'я, грудна клітина має форму діжки і через це в них зберігаються значно вищі величини мертвого простору. Завдяки, такій особливості вдається зберегти в організмі необхідний вміст  $\text{CO}_2$ , достатній для регуляції дихання в цих умовах нестачі кисню та розрідженого повітря [3, 34].

Розрізняють наступні ємності легень:

Загальна ємність легенів - кількість повітря, що знаходиться в легенях після максимального вдиху [34, 40];

Життєва ємність легенів – узагальнений показник, який включає в себе дихальний об'єм, резервний об'єм вдиху, резервний об'єм видиху. Тобто, ЖЕЛ - це об'єм повітря, який можна видихнути з легких при максимальному видиху після максимального вдиху. Він приблизно становить у чоловіків 3,5 - 5,0 л, у жінок - 3,0 - 4,0 л [37, 40];

Ємність вдиху. Дорівнює додатку дихального об'єму і резервного об'єму вдиху, становить в середньому 2,0 - 2,5 л [37];

Функціональна залишкова ємність це - об'єм повітря в легенях після спокійного видиху. Відомо, що у легенях при спокійному вдиху і видиху постійно знаходиться приблизно 2500 мл повітря, яке заповнює нижні дихальні шляхи та альвеоли [36]. Саме завдяки цьому газовий склад альвеолярного повітря зберігається на постійному рівні.

Повітря, із повітроносних шляхів (до них відносять ротову порожнину, носову порожнину, глотку, трахею, бронхи та бронхіоли), не бере участі в газообміні, і тому, як зазначено вище, об'єми верхніх і нижніх повітроносних шляхів ще називають шкідливим або мертвим дихальним простором. Навіть під час спокійного вдиху (приблизно 500 мл) в альвеоли надходить тільки близько 350 мл вдихуваного атмосферного повітря. Виходить, що решта із цих 150 мл затримуються в анатомічному мертвому просторі. Можна розрахувати (фізично він не вимірюється), що мертвий простір складає в середньому третину

дихального об'єму, і знижує на цю величину ефективність альвеолярної вентиляції при спокійному диханні. У випадках, коли при виконанні фізичної роботи дихальний об'єм збільшується в кілька разів, об'єм анатомічного мертвого простору ніяким чином не впливає на якісні показники альвеолярної вентиляції. Але при деяких патологічних станах (анемії, легенева емболія, корона вірусна атипова пневмонія або емфізема легенів тощо) можуть виникати патологічні ділянки у самому альвеолярному просторі (так звані «зони альвеолярного мертвого простору»). Саме у таких зонах легенів газообмін не відбувається і це негативно впливає на функції дихання [33, 36, 37, 40].

Основні показники зовнішнього дихання представлені у таблиці 1.1.

*Таблиця 1.1*

**Показники зовнішнього дихання людини**

Показник		Визначення
Дихальний об'єм	ДО	об'єм повітря, що його людина вдихає і видихає у спокійному стані
Резервний об'єм вдишу	РОВд	максимальний об'єм повітря, яке можна вдихнути додатково після спокійного вдишу
Резервний об'єм видиху	РОВид	максимальний об'єм повітря, який можна видихнути додатково після спокійного видиху
Життєва ємність легенів	ЖЕЛ	максимальний об'єм повітря, яке можна видихнути після максимального вдишу
Залишковий об'єм	ЗО	об'єм повітря у легенях після максимального видиху
Функціональна залишкова ємність	ФЗЄ	об'єм повітря у легенях, що залишається після спокійного видиху

*Продовження таблиці 1.1*

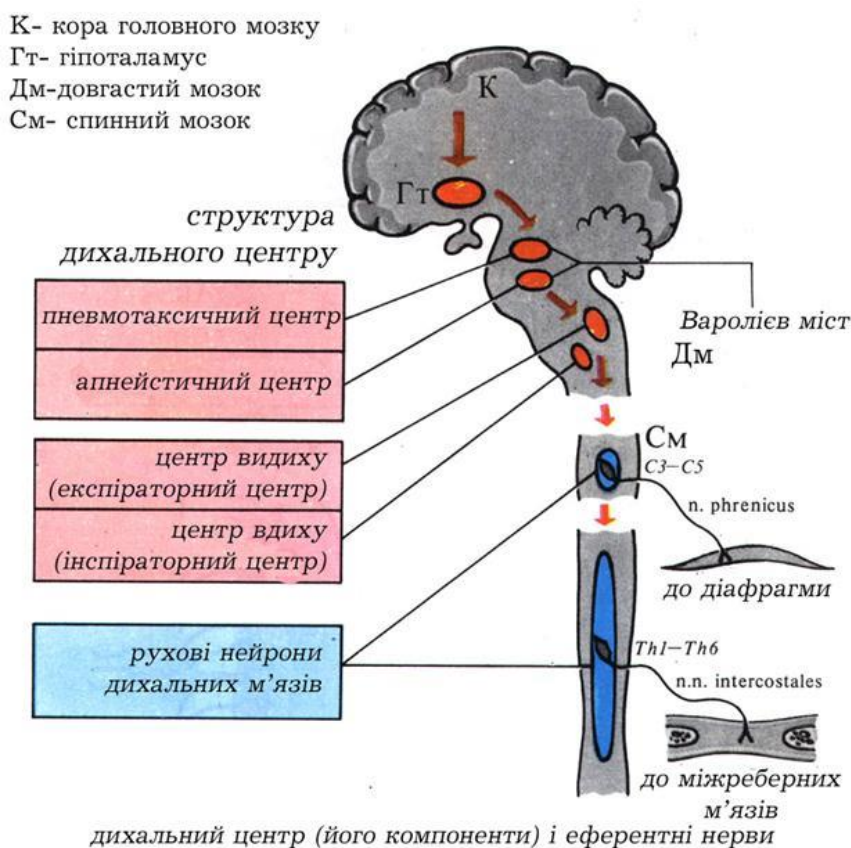


Показник		Визначення
Альвеолярна вентиляція легенів	АВЛ	об'єм видихуваного повітря, яке надходить до альвеол за 1 хв.
Загальна ємність легенів	ЗЄЛ	об'єм повітря у легенях після максимального вдиху
Хвилинний об'єм дихання	ХОД	об'єм повітря, що проходить через легені за 1 хв.
Максимальна вентиляція легенів	МВЛ	об'єм повітря, яке може пройти через дихальну систему протягом 1 хв. при максимально інтенсивному диханні
Коефіцієнт вентиляції легенів	КВЛ	відношення об'єму повітря, що надійшло у легені при вдиху, до об'єму повітря, що вже є на цей час у легенях. Показує, яка частина повітря поновлюється за один дихальний період

Забезпечення функцій системи дихання залежить від адекватної регуляції цих процесів.

У відповідності до потреб обміну речовин, респіраторна система повинна забезпечити обмін між газовими сумішами (коротко кажучи  $O_2$  і  $CO_2$ ) між навколишнім і внутрішнім середовищем організму. Цю найважливішу функцію, від якої залежить саме існування організму, регулює ретикула з незміненої кількості взаємопов'язаних нейронів центральної нервової системи, які розміщуються в певній кількості відділів мозку. Саме їх і поєднують в комплексний утвір «дихальний центр» [34; 36, 37] (рис. 1.1).

При впливі на структури дихального центру нервово-гуморальних стимулів відбувається пристосування функцій дихання до змінних умов зовнішнього середовища. Структури, які встановлюють та народжують дихальний ритм, вперше були знайдені у довгастому мозку [37].



**Рис. 1.1. Дихальний центр людини**

Класичний перетин довгастого мозку в суворо визначеній області дна IV шлуночка веде до фатального наслідку - зупинки дихання. Тож головним дихальним центром вважають сукупність нейронів дихальних ядер довгастого мозку. Дихальний центр керує двома основними функціями: руховою, яка проявляється у вигляді скорочення дихальних м'язів, і гомеостатичною, що підтримує сталості внутрішнього середовища організму при змінах в ній вмісту  $O_2$  і  $CO_2$ . Рухова функція дихального центру - це генерація дихального ритму і його патерну. Завдяки цій функції здійснюється інтеграція дихання та інших функцій (патерн дихання - це тривалість вдиху і видиху, величина дихального об'єму, хвилинного об'єму дихання). Гомеостатична функція дихального центру підтримує стабільні величини дихальних газів в крові і позаклітинній рідині мозку, адаптує дихальну функцію до умов змін середовища [27, 36; 37].

У передніх рогах спинного мозку на рівні СIII - CIV розташовуються рухові нейрони, що утворюють діафрагмальний нерв. Нейрони, що інервують міжреберні м'язи, знаходяться в передніх рогах на рівнях TII - TX. Встановлено, що одні рухові нейрони регулюють переважно дихальні рухи, а інші - переважно активність міжреберних м'язів при утриманні пози. Нейрони наступного дихального центру розташовуються на дні IV шлуночка в центральній частині ретикулярної формації довгастого мозку і утворюють дві дихальні групи (дорсальну і вентральну) [27]. Дихальні нейрони, активність яких викликає вдихи або видихи, мають назву «інспіраторні» та «експіраторні» нейрони. Між групами нейронів, які керують інспіраціями та експіраціями, існують взаємозалежні відносини. Порушення видихового центру супроводжується гальмуванням в вдихового центру і навпаки. Нейрони вдиху і видиху поділяються на «ранні» та «пізні». Дихальний цикл починається з активізації «ранніх» вдихових нейронів, потім збуджуються «пізні» нейрони. Також послідовно збуджуються «ранні» та «пізні» видихові нейрони, які гальмують перші нейрони і припиняють вдих [37].

Спонтанна активність нейронів дихального центру починається ще пренатально (до кінця періоду внутрішньоутробного розвитку). Вперше дихальний центр плода збуджується завдяки пейсмеркерним властивостям ланки дихальних нейронів довгастого мозку. Чим більше формується синаптичних зв'язків дихального центру з різними відділами центральної нервової системи, тим більше пейсмеркерний механізм дихальної активності втрачає своє фізіологічне значення [27, 34, 37].

У місті, яке має назву «варолієв міст», розміщені ядра дихальних нейронів. Їх спільнота утворює «пневмотаксичний центр». Дихальні нейрони варолієвого мосту беруть участь у керуванні механізмом змін вдиху і видиху, також визначають і регулюють величину дихального об'єму. Дихальні нейрони довгастого мозку і моста висхідними і низхідними нервовими шляхами пов'язані між собою і діють узгоджено.

Імпульси від інспіраторного центру надходять до пневмотаксичного центру, а він посиляє їх до експіраторних центрів довгастого мозку (відбувається процес збудження) і нейрони гальмуються. Якщо порушити зв'язки у мозку між довгастим мозком і мостом, то фазу вдиху стане деже тривалою. Гіпоталамічні ядра взаєморегулюють зв'язок процесу дихання з кровообігом (узгоджують потреби). Особливі зони кори великих півкуль здійснюють довільну регуляцію дихання у співвідповідності та узгоджено з іншими системами, впливам на організм факторів зовнішнього середовища і пов'язаних з цим порушень метаболітичних процесів [27, 31, 36, 37].

*Рефлекторна регуляція зовнішнього дихання.* Нейрони дихального центру мають зв'язки з усьома механорецепторами дихальних шляхів, альвеол легенів і рецепторами судинних рефлексогенних зон. Завдяки ним відбувається різноманітна, складна і біологічно дуже важлива рефлексогенне керування диханням та координація дихальної функції з іншими організменними функціями [31].

Власні рефлекси дихальної системи - це такі рефлекси, які беруть початок в органах дихальної системи і в ній же закінчуються. В першу чергу, до цієї групи рефлексів слід віднести рефлекторний акт з механорецепторів легень. Залежно від локалізації і виду подразнень, які вони сприймають, характеру рефлекторних відповідей на подразнення розрізняють три види таких рецепторів: рецептори розтягування, іритантні рецептори і юстаккапілярні рецептори легень [31, 34].

Поштовхом для збудження для цих рецепторів є акт вдиху: потенціали дії від них рушають аферентними волокнами *nervus vagus* до кінцевої мети - дихального центру. Їх вплив гасить активність нейронів дна четвертого шлуночка довгастого мозку (відповідного центру). Таким чином припиняється вдих і починається видих, а при ньому вищезначені рецептори розтягування є неактивними. Цей рефлекторний акт (гальмування вдиху коли легені розтягнуті повітрям) має назву» рефлекс

Герінга – Брейера» [31]. Він відповідає за глибину та частоту дихання. До речі такий рефлекс є цікавим прикладом регуляції за зворотнім зв'язком. Після повного перетину блукаючих нервів дихання стає повільним, глибоким, а дихальні рухи відбувають з малою частотою [34].

Швидкоадаптовані механорецептори, які розміщуються у слизовій оболонці трахеї і бронхів, збуджуються при розтягненні або, навпаки, склеюванні легенів, також при різких зміненнях об'єму легенів, а також при дії на серозно-слизову оболонку трахеї і бронхів твердофазних або хімічних подразників. Результатом збудження цих рецепторів є часте, поверхневе дихання, кашльовий рефлекс, або рефлекс звуження бронхів. Якщо збуджуються тільки рецептори хоанових дихальних шляхів, то це викликає інший терміновий рефлекс – чхання [31, 34, 36, 37].

Також є рецептори, які розташовані по ходу капілярів альвеол і дихальних бронхів. Для них своєрідним тригером є підвищення тиску в малому колі кровообігу, а також збільшення об'єму інтерстиціальної рідини в легенях. Імпульси від цих рецепторів спрямовуються до дихального центру по вагусу, і викликають появу пришвидшеного поверхневого дихання. При патології викликає відчуття задишки, утрудненого дихання та рефлекторне звуження бронхів [31, 34, 37].

Ще розрізняють велику групу власних рефлексів, які починаються від збудження рецепторів дихальної мускулатури (і діафрагми). Рефлекс від рецепторів міжреберних м'язів здійснюється під час вдиху, коли ці м'язи скорочуючись, посилають інформацію через міжреберні нерви до експіраторного відділу дихального центру і в результаті настає видих. Рефлекс від рецепторів діафрагми здійснюється у відповідь на її скорочення під час вдиху, в результаті інформація надходить по нервам діафрагми спочатку в спинний, а потім в довгастий мозок в експіраторний відділ дихального центру і настає видих [27, 31, 33, 34].

## 1.2. Поняття про резерви дихальної системи

Зовнішнє дихання, або вентиляція легень, полягає в обміні повітря між зовнішнім середовищем і альвеолярним. Вентиляція легень здійснюється в результаті ритмічних дихальних рухів грудної клітки [36].

Предметом біомеханіки зовнішнього дихання є розгляд механізму зв'язку між роботою дихальних м'язів, тиском у різних ділянках апарату дихання, об'ємом легень і плином повітря. На даний час розроблено ряд методів, які дають кількісну інформацію про механізм зовнішнього дихання. Розроблені тести знайшли широке застосування в фізіології та клінічній практиці. Визначення різних параметрів зовнішнього дихання допомагає в діагностиці багатьох захворювань і оцінці ефективності їх лікування [1, 33].

**1.2.1. Механічні процеси в легенях.** У людини в процесі дихання бере участь вся поверхня тіла. Особливо інтенсивно дихає шкіра на поверхні грудної клітки, спини та живота. Слід зауважити, що за інтенсивністю дихання ці ділянки шкіри значно перевищують легені. Однак участь шкіри в загальному дихальному балансі людини порівняно з легенями є незначною. Загальна поверхня шкіри складає близько 2 м<sup>2</sup>, тоді як поверхня легень, при умові якщо розгорнути всі 700 млн альвеол, через стінки яких відбувається газообмін, між повітрям та кров'ю, складає 90-100 м<sup>2</sup>, тобто в 45-50 разів більша [34, 37].

Людина дихає атмосферним повітрям, яке складається із кисню - 20,94%, вуглекислого газу -0,03%, азоту та інертних газів -79,03%. А повітря, яке видихається, складає: кисню -16,3%, вуглекислого газу -4%, азоту -79,7% [37].

Оскільки парціальний тиск кисню в крові менший, ніж у повітрі, то його проникнення із повітря в кров буде відбуватися доти, поки їх парціальні тиски не зрівноважаться (закон Дальтона). Завдяки дифузії

молекул газу через стінки дотикаючих альвеол легень і капілярів кровносної системи відбувається газообмін легень [36].

Дифузія через альвеолярну мембрану відбувається майже вдвічі швидше, ніж у воді, оскільки до складу мембрани входять ліпіди. Дифузійна здатність вуглекислого газу приблизно у 20 разів більша, ніж кисню. Це зумовлено тим, що розчинність вуглекислого газу в сольовому розчині, який входить до складу альвеолярної мембрани, значно вища, ніж розчинність кисню в такому ж розчині. Розчинність газу пришвидшує процес дифузії в мембрані. У нормі дифузійна здатність у стані спокою становить приблизно 15 мл кисню за хвилину, а при фізичних навантаженнях сягає 68 мл за хвилину. З віком дифузійна здатність зменшується. При захворюванні відбувається потовщення альвеолярної мембрани, що зумовлює збільшення відстані дифундування і зниження дифузійної здатності [27].

Важливим показником функціонування легень є об'єм. Існує кілька методів визначення їх об'єму. Одним із найпростіших методів грубого визначення об'єму є спосіб визначення за вагою та зростом. Встановлено, що у чоловіків приблизно 2500 см<sup>3</sup>, а в жінок 2000 см<sup>3</sup> об'єму легень припадає на 1 м<sup>2</sup> поверхні тіла. Зв'язок між об'ємом легень і поверхнею тіла оцінюється формулою Дюбуа [34, 37].

Легені, розміщені всередині грудної клітки, відділені від її стінок плевральною порожниною і перебувають у розтягнутому стані. Завдяки тому, що легені володіють еластичністю, тиск у плевральній порожнині нижчий, ніж в альвеолах. В умовах рівноваги тиск в альвеолах  $P$  зрівноважується сумою тисків у плевральній порожнині  $P_{пл}$  і тиском, який створюється еластичною тягою легень  $P$ . Тобто плевральний тиск менший за альвеолярний на величину, яка зумовлена еластичною тягою легень [37].

Атмосферний тиск, який діє на грудну клітку  $P_{ат}$ , зрівноважується сумою плеврального тиску і тиску, що створюється еластичністю грудної

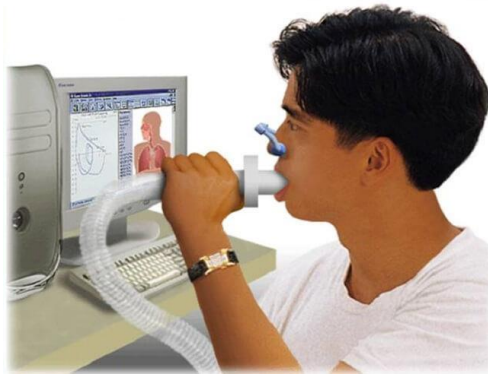
клітки Р. Отже, плевральний тиск менший за атмосферний на величину, яка зумовлена еластичною тягою грудної клітки. Тому плевральний тиск часто називають від'ємним, приймаючи рівень атмосферного тиску за нуль. Від'ємний тиск у плевральній порожнині намагається стиснути грудну клітку. Водночас тяга грудної клітки спрямована в протилежний бік від тяги легень (що полегшує вдих). Співвідношення вказаних сил визначає рівень спокійного дихання і функціональну залишкову ємність. Коли глибина вдиху складає більше 70 % життєвої ємності, еластичність грудної клітки починає протидіяти вдиху і її тяга вже направлена в цю ж сторону, що й еластична тяга легеневої тканини [36, 37].

Акт вдиху здійснюється в результаті збільшення об'єму грудної порожнини, який відбувається при підніманні ребер і опусканні діафрагми. Діафрагма є найсильнішим м'язом вдиху, що забезпечує 2/3 вентиляції [37].

Збільшення об'єму грудної клітки при скороченні м'язів, які забезпечують акт вдиху, приводить до зменшення тиску в плевральній порожнині. В результаті цього повітря в легенях, переборюючи опір сил розтягу легень, розширюється, а його тиск згідно з законом Бойля - Маріотта зменшується і стає нижчим від атмосферного. Виникнення різниці тисків між атмосферою та альвеолами легень зумовлює безпосередній плин у них повітря [34; 36].

Об'ємна швидкість вдихуваного і видихуваного повітря вимірюється приладом - спірометром. Зміна об'ємів циркулюючого повітря в часі записується приладом – спірографом [28]. Крива, записана цим приладом, носить назву спірограми. Об'ємна швидкість повітря вимірюється пневмотахометром (рис. 1.2.). Зміна об'ємної швидкості повітря в часі реєструється пневмотахографом, а отримана при цьому крива носить назву пневмотахограми [28].





А



Б

**Рис. 1.2. Процедура пневмотахографії (А) та загальний вигляд пневмотахографа (Б).**

### 1.2.2. Механізм видиху. Під час вдиху м'язи долають ряд сил:

- еластичний опір грудної клітки (після досягнення 70 % життєвої ємності) і внутрішніх органів, які відтиснуті донизу діафрагмою;
- еластичний опір легень;
- динамічний (в'язкий) опір усіх тканин, які переміщуються;
- аеродинамічний опір дихальних шляхів;
- вагу грудної клітки, яка переміщується;
- сили, які зумовлені інерцією переміщуваних мас [27, 34].

Енергія м'язів, яка витрачається на подолання всіх видів динамічного опору, переходить у тепло і в подальшому процесі дихання не приймає участі. Решта енергії м'язів вдиху переходить у потенціальну енергію розтягу всіх еластичних тканин та потенціальну енергію тяжіння. При розслабленні вдихуючих м'язів під дією еластичних сил грудної клітки і внутрішніх органів її об'єм зменшується. При прискореному видиху до перерахованих сил приєднуються скорочення внутрішніх міжреберних м'язів, скорочення задніх нижніх м'язів і скорочення м'язів живота [37].

Зменшення об'єму грудної клітки приводить до підвищення плеврального тиску. В результаті цих чинників, а також під дією еластичної

тяги легень, повітря в альвеолах стискується, його тиск стає вищий за атмосферний і воно починає виходити назовні. Коли еластична тяга легень зрівноважується тиском у плевральній порожнині, видих закінчується. В легенях залишається деяка кількість повітря, яка носить назву залишкового об'єму. Таким чином, дія дихальних м'язів на легені здійснюється не безпосередньо, а через зміну тиску в плевральній порожнині. Безпосередньою причиною плину повітря через дихальні шляхи є циклічні коливання альвеолярного тиску [31, 34, 37].

**1.2.3. Розтяжність легень.** Слід зазначити, що залежність між тиском і об'ємом легень значно відрізняється від ідеально пружного тіла, яка підпорядковується закону Гука та описується лінійною залежністю. Еластичний опір такого тіла виражається формулою:

$$dR = \frac{dV}{dP},$$

де  $dV$  – зміна об'єму,  $dP$  – зміна тиску [36].

Для легень характерні U-подібні криві, які є різними залежно від послідовності зміни тиску. Нелінійна залежність об'єму від тиску спричинена еластичною тягою легень, яка обумовлена наявністю в альвеолах еластичних волокон, та поверхневим натягом плівки рідини, що покриває внутрішню поверхню альвеол. Альвеолу можна розглядати як напівсферу, що утворена пружною плівкою. Частка поверхневого натягу складає 55-65 % еластичної тяги легень. Додатковий тиск, зумовлений поверхневим натягом, згідно з законом Лапласа обернено пропорційний радіусу сфери [28; 31].

Тому недостатньо заповнені повітрям альвеоли володіють високим опором. Якщо збільшити їх об'єм, то опір зменшується. Легені з малим початковим об'ємом важко заповнити повітрям, а роздуті легені зберігають великий опір навіть при зменшенні тиску. Цей недолік можна усу-

нути, якщо заповнити альвеоли фізіологічним розчином, що зумовить усунення поверхневого натягу і спричинить більший розтяг легень. Тоді залежність між об'ємом і тиском стане лінійною [33].

Особливістю клітин альвеолярного епітелію є те, що вони виділяють поверхнево-активну речовину - сурфактант, яка зменшує поверхневий натяг. Внутрішня поверхня альвеол покривається плівкою сурфактанту, який стабілізує сили поверхневого натягу. При зменшенні об'єму альвеол густина молекул сурфактанту на поверхні альвеол збільшується, що, у свою чергу, зменшує коефіцієнт поверхневого натягу і тим самим обмежує дію закону Лапласа [37].

Багато хвороб дихальної системи можуть бути зумовлені або супроводжуватися змінами поверхневого натягу. На функціонування дихальної системи впливає ряд чинників, які утруднюють дихання, зумовлюють порушення частоти, глибини дихання та структури дихального циклу [33].

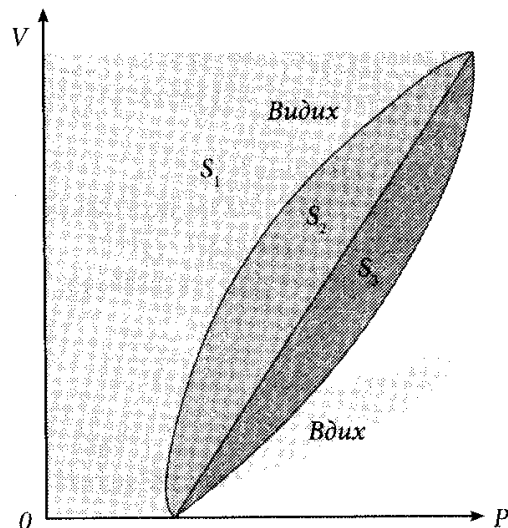
**1.2.4. Робота дихальних м'язів.** Роботою дихання називається робота, яка виконується дихальними м'язами під час вентиляції легень при подоланні всіх видів опору. Безпосередньо виміряти роботу дихальних м'язів не видається можливим. У зв'язку з цим для визначення роботи дихання користуються другорядними методами [42].

Робота, як відомо, вимірюється добутком сили на шлях, пройдений вздовж напрямку сили. Для випадку дихальної (тривимірної) системи робота вираховується добутком тиску на зміну об'єму. Оскільки тиск у дихальній системі - величина змінна, визначення роботи  $A$  проводять шляхом інтегрування [36].

Повна робота дихання визначається методом загальної плетизмографії. Досліджуваного з виключеним самовільно або з допомогою фармакологічних засобів диханням помішують у плетизмограф, у якому ритмічно створюється від'ємний і додатний тиск. Для визначення роботи

необхідний одночасний запис спірограми, яка показує легеневі об'єми і різниці тисків між плетизмографом і ротовою порожниною [37].

Крива залежності зміни об'єму легень від зміни тиску з подолання опору дихання має вигляд (рис. 1.3). Петля гістерезиса обмежує площу фігури, яка і представляє роботу дихання. У стані спокою робота обмежена площею фігури під петлею гістерезису [27, 28].



**Рис. 1.3. Залежність зміни об'єму легень від зміни тиску з подолання опору дихання, де  $P$  - змінне значення тиску з подолання опору дихання;  $V$  - змінне значення об'єму.**

Де  $S_1$  - робота з подолання еластичного опору дихання;  
 $S_2$  - робота з подолання нееластичного опору дихання;  
 $S_3$  - робота видиху.

При інтенсивному диханні робота видиху, як і вдиху, різко зростає і перевищує роботу вдиху. При цих умовах складова видиху вимагає додаткових енергозатрат з подолання нееластичного опору дихання [28].

Величину дихальної роботи, як правило, відносять до 1 л вентиляції. У спокої (вентиляція до 10 л/хв) робота дихання складає величини 0,1 - 0,59 Дж/л, або 0,98 + 4,9 Дж/хв. По мірі збільшення хвилинного об'єму робота дихання непропорціонально зростає, що пов'язано головним чином зі збільшенням динамічного тиску. Робота дихання є підвищеною

при збільшеному еластичному або динамічному опорі і особливо при зростанні обох цих чинників. Гранична для кожної людини величина вентиляції лімітується достатньою для неї граничною роботою дихальної мускулатури [33].

Величина вимірюваної ЖЕЛ вважається зниженою, якщо це зниження становить більше 20% від рівня ДЖЕЛ.

Ємність вдиху - максимальна кількість повітря, яку можна вдихнути після спокійного видиху [34].

Функціональна залишкова ємність - кількість повітря, що залишається в легенях після спокійного видиху. Фізіологічна роль цієї величини полягає в тому, що завдяки наявності цієї ємності в альвеолярному просторі згладжуються коливання концентрацій  $O_2$  і  $CO_2$ , обумовлені відмінностями їх змісту у вдихуваному і видихуваному повітрі. Якби атмосферне повітря надходив безпосередньо в альвеоли, не змішуючись з повітрям, що вже знаходяться в легенях, то вміст  $O_2$  і  $CO_2$  в альвеолах зазнавало б коливання у відповідності з фазами дихального циклу. Завдяки ж тому, що функціональна залишкова ємність в спокої в кілька разів більше дихального об'єму, зміна складу альвеолярного повітря відносно невелика [10, 34].

До динамічних показників відносять альвеолярну вентиляцію, хвилинний дихальний об'єм, частота дихання, максимальну вентиляцію легень.

Хвилинний об'єм дихання (МОД) — об'єм повітря вентиляований через легені та дихальні шляхи за 1 хв. Для визначення МОД достатньо знати глибину, або дихальний об'єм (ДО), частоту дихання (ЧД):  $МОД = ДО \times ЧД$ . У спокої МОД становить 4-6 л/хв. Цей показник часто називають також вентиляцією легень (відрізнати від альвеолярної вентиляції) [34, 37].

Частота дихання – кількість дихальних циклів (вдих-видих) за 1 хвилину (у нормі 16-20). Частота дихальних рухів вище у дітей (20-30 хв.

в), у грудних 30-40 в хв, а у новонароджених 40-50 в хвилину [36].

Таким чином, хвилинний об'єм дихання у дорослих людей при частоті 12, а ДО - 0,5 л дорівнює 6 л/хв. При фізичних навантаженнях відповідно до збільшення потреб в кисні зростає хвилинний об'єм дихання, досягаючи в умовах максимального навантаження 120-170 л/хв. Це - максимальна вентиляція легенів (максимальна дихальна ємність). МВЛ може бути визначена при довільній гіпервентиляції у спокої (дихати максимально глибоко і часто в косовицю допустимо не більше 15 с) [37, 40].

Показником ефективності дихання в цілому є альвеолярна вентиляція. Від цієї величини залежить газовий склад, який підтримується в альвеолярному просторі. Оскільки обсяг мертвого простору постійний, то альвеолярна вентиляція тим більше, чим глибше дихання [36].

Альвеолярна вентиляція легень (АВЛ) — обсяг атмосферного повітря, що проходить через легеневі альвеоли за 1 хв. Для розрахунку альвеолярної вентиляції треба знати величину АМП. Якщо вона не визначена експериментально, то для розрахунку обсяг АМП беруть рівним 150 мл. Для розрахунку альвеолярної вентиляції можна користуватися формулою  $AVL = (DO - AMP) \times CD$  [37].

### **1.3. Фактори, що впливають на функціональні можливості дихальної системи**

Відомо, що фізична активність є фактором, який гарно впливає на систему зовнішнього дихання [15]. Проводились дослідження з метою оцінити морфофункціональний статус і рівень фізичної підготовленості протягом року навчання у підлітків старших класів з підвищеною навчальним навантаженням, що знаходяться на різному руховому режимі. Показано, що основні показники системи зовнішнього дихання у

старшокласників відповідають належним величинам. На початку навчального року абсолютні значення показників системи зовнішнього дихання у обстежених школярів не мають статистично значущих відмінностей. Систематичні заняття протягом року циклічними і ігровими видами спорту в порівнянні зі звичайним руховим режимом призводять до підвищення економічності дихання (збільшення дихального обсягу) і резервних можливостей системи при спокійному диханні (збільшення життєвої ємності легень і резервного обсягу вдиху) [24].

Подібні дослідження проводились і для дівчат [20]. Вихідний рівень основних показників системи зовнішнього дихання у старшокласниць, які навчаються за спеціальною навчальною програмою, відповідає належним величинам і не має статистично значущих відмінностей для осіб, надалі перебувають на різному руховому режимі. Систематичні (протягом навчального року) заняття циклічними і ігровими видами спорту в порівнянні зі звичайним руховим режимом призводять до зміни патерну форсованого дихання: збільшення обсягу форсованого вдиху на 1 с, пікової об'ємної швидкості видиху, максимальної об'ємної швидкості видиху в дрібних бронхах, але зниження часу і об'єму повітря на пікової швидкості. Це супроводжується підвищенням загальної фізичної підготовленості і швидкісної витривалості дівчат, що мають підвищену рухову активність, порівняно з особами, які перебувають на звичайному руховому режимі [20, 22, 25].

Подібні дослідження дозволили виявити відмінності в рівні функціонування системи зовнішнього дихання у старшокласників, що мають підвищені навчальні навантаження і знаходяться на різному руховому режимі. Протягом року навчання у представників всіх груп виявлена позитивна динаміка таких показників, як життєва ємність легень, форсована життєва ємність легень, а також деяких показників, що характеризують витривалість організму. При збереженні загальних тенденцій розвитку, притаманних підлітковому і юнацькому віку, в осіб,

що додатково займаються протягом навчального року циклічними і ігровими видами спорту, відзначено збільшення резервних можливостей системи зовнішнього дихання і зміна патерну дихання. Так, у юнаків з підвищеною руховою активністю в кінці року скорочується час форсованого видиху; обсяг повітря на пікової швидкості знижується, але зростає максимальна швидкість повітряного потоку в дрібних бронхах. Цей факт можна розглядати як непрямий доказ збільшення сили дихальних м'язів, що має супроводжуватися підвищенням економічності роботи системи зовнішнього дихання. Значні відмінності між групами виявлені також за показниками навантажувальних тестів з затримкою дихання на вдиху і видиху. Для дівчат ця динаміка більш згладжена. Паралельно з цим процесом спостерігається підвищення загальної витривалості організму [9, 23, 26, 32 ].

У осіб, які професійно займаються дзюдо, виявлені адаптивні зміни системи зовнішнього дихання. По перше, це факт, що у дітей-дзюдоїстів показники системи зовнішнього дихання на 2-3 роки випереджують однолітків і досягають показників юнаків. Цим забезпечується високий рівень тренуваності таких дітей. Спортивна результативність досягається за рахунок оптимального рівня функціонування системи зовнішнього дихання в результаті завершення формування фізичних якостей на фоні центрованої швидкісно-силової спрямованості навантажень [14, 16].

В багатьох дослідженнях доведена ефективність застосування спеціальних навчальних програм і проектів, які дозволяють спрямовувати розвиток здоров'я та удосконалювати його. Так, результати показників системи зовнішнього дихання та ключових показників морфометрії у дітей, які вчилися під впливом програма «Освіта та здоров'ябудування» виявили наступні позитивні тенденції [7, 41]. Послідовне збільшення показників системи зовнішнього дихання та, що забезпечують кисневотранспортну функцію, і підвищення стабільності показників за рахунок зниження їх варіабельності. Спостерігається під впливом



оздоровчих технологій підвищення біологічної надійності ланок системи зовнішнього дихання та, виявляються слабкі ланки. Відзначається поступове збільшення МВЛ і відносної МВЛ, резерву дихання. Інтерес представляють об'ємні швидкості, їхнє ставлення до ФЖЕЛ, ЖЕЛ, які з ростом адаптоздібності дівчат змінювалися позитивно. Важливий візуальний аналіз кривих «потік-об'єм форсованого видиху, які змінювалися від курсу до курсу фізіологічно. Виявлялися позитивні зміни у ставленні прохідності бронхів. Виявлено, що відношення до належних показників спірографії ЖЕЛ, ФЖЕЛ, ОФВ1 і більшість показників кривої «потік-об'єм» форсованого видиху ПОС, ХОС, СОС з ростом адаптоздібності міняли архітекtonіку перебудов і діапазон норми [4; 7].

Досліджували стан дихальної системи у практично здорових молодих людей, які мали шкідливі звички та проживали у екологічно неблагоприємних умовах [35, 38, 39]. Було з'ясовано, що зниження скорочувальної здатності і еластичності дихальних м'язів більш виражено у обстежуваних осіб жіночої статі, що підтверджується зниженням показників ФЖЕЛ і ПОС, що обумовлено з одної сторони гіподинамією, з іншого - загальною астенизацією організму в період навчання у вузі. Звуження повітряних шляхів у студентів з екологічно забрудненого міста характеризується зниженням індексу Тіфіно. Під впливом хімічних агентів, що надходять з повітряного середовища, відбуваються суттєві порушення структури і функції дихальної системи, що відображається на показниках дихальної функції. У студентів-курців був значно знижений показник МОС25, що обумовлено порушенням на рівні великих і середніх бронхів [39]. При дослідженні ФЗД в групі студентів, які палять виявлено зниження в порівнянні з непалачими показників ФЖЕЛ, ПСВ і МОС25, а також наявність суб'єктивних симптомів ураження дихальних шляхів (у 20% курців). Це може свідчити про формування у молодих курців ранніх бронхообструктивних порушень. У групі курців виявлено підвищення рівня розчинної антигену sICAM-1 (як сумарного, так і його

олігомерної фракції) і тенденція до підвищення sICAM-3 в сироватці крові, що відображає індукційовану тютюнопалінням дисрегуляцію в системі молекул адгезії і є патофізіологічним фактором формування хвороб легенів [17].

Подібні дослідження стосувалися і дітей. Показано, що діти, які проживають в районах з різними видами промислового забруднення, характеризуються різним типом дихання. При високому рівні хімічного забруднення дихання глибоке з високою швидкістю повітряного потоку в бронхах і коротким часом вдиху, що забезпечується більш розвиненою дихальною мускулатурою і супроводжується більш низькими показниками резервних обсягів видиху і вдиху при високих значеннях ЖЄЛ. Дихання дітей з промислового району з високим пиловим забрудненням поверхневе з низькою об'ємною швидкістю і низькими функціональними резервами не дивлячись на напругу дихальних м'язів. Отримані вирази для чинників, що дозволяють виявити відмінності в характері дихання дітей, що відносяться до I та II груп здоров'я, які проживають в промисловому місті в районах з різним характером забруднення [8, 18, 23].

Проведені дослідження стану системи зовнішнього дихання у осіб юнацького віку - студентів першого курсу дозволяють говорити про певний вплив постійного місця проживання на цей процес. Основні співвідношення досліджуваних показників відповідають фізіологічним нормативам і мають певні статеві особливості, обумовлені характером дихання. Постійне проживання в умовах промислового міста формує дихання з більш високим інспіраторним навантаженням, з підвищенням легкості дихальних шляхів, що є проявом компенсаторної реакції системи зовнішнього дихання на тривалий антропогенний вплив екології міста. Дихання у осіб, постійним місцем проживання яких є сільська місцевість, більш ефективне і економічне, з високими резервними можливостями, що реалізуються при форсованому диханні [10, 24].

Отримані дані [12, 13] свідчать про те, що функціональний стан системи зовнішнього дихання має особливості в залежності від індивідуально-типологічної характеристики організму людини. Розподіл типів конституції в популяції змінюється в залежності від екологічних і соціальних факторів середовища (табл. 1.2).

Таблиця 1.2

**Співвідношення ЖЕЛ/ДЖЕЛ у представників різних типів конституції (за Красильниковою В.А., Бурхіноюю І.В.)**

Тип конституції	Пол	Соотношение ЖЕЛ/ДЖЕЛ		
		Среднее значение в %	В норме, в%	Ниже нормы, в%
Нормостенический	юноши n=127	76,2±3,7	43,3±4,4	56,7±4,4
	девушки n=157	79,6±3,2	49,0±3,9	51,0±3,9
Астенический	юноши n=37	70,2±7,5	18,9±6,4	81,1±6,4
	девушки n=99	73,3±4,4	36,4±4,8	63,6±4,8
Гиперстенический	юноши n=54	75,2±5,9	31,5±6,3	68,5±6,3
	девушки n=32	80,7±6,9	46,9±8,8	53,1±8,8

Збільшення у гіперстеніків показників життєвої ємності легень може свідчити про те, що зростання повітроносності у даних осіб служить механізмом компенсації зниженого у них щодо інших груп рівня насичення крові киснем [13].

## РОЗДІЛ 2. МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

### 2.1. Організація дослідження

Наше дослідження було організоване наступним чином. Показники функціонального стану дихальної системи вимірювалися у старшокласників (11 та 12 клас) у жовтні-листопаді 2019 року. Кількість дітей у досліджуваній групі складала: 10 клас – 14 осіб, з них 8 дівчат та 6 хлопців); 11 клас - 11 осіб, з них 4 дівчат та 7 хлопців. Усі досліджувані на момент обстежень не мали хронічних чи гострих захворювань. Дослідження проводились у однаковий час та у стандартизованих умовах. У дослідженні визначали час затримку дихання на вдиху та видиху, трифазну затримку дихання.

Отримані результати піддавалися статистичній обробці за допомогою програми Excel 2007.

### 2.2. Дослідження функціональних резервів дихальної системи

При дослідженні дихальної системи користуються різними інструментальними методами, але застосування у школі складних методів із використанням спеціальних приладів не завжди себе виправдовує. Зазвичай використовують визначення дихальних об'ємів (частота, глибина ритму дихання, життєва ємність легенів, витривалість дихальних м'язів тощо). Але для масового використання необхідні прості та доступні методики [27, 29; 40].

Зауважимо, що деякі зміни функції зовнішнього дихання, механізми адаптації до дії будь-яких чинників можуть виявлятися лише при використанні специфічних проб або «навантажувальних тестів», які називаються «функціональні легеневі проби». За допомогою їх можна

виявити функціональні резерви системи дихання та діагностувати приховані форми серцево-легеневої недостатності, які не можливо виявити при звичайних дослідженнях.

Для нашого дослідження ми обрали проби Штанге, Генчі (відповідно, затримка дихання на вдиху і видиху) та пробу Серкіна (трифазна затримка дихання), яка характеризує стійкість організму до нестачі кисню. З'ясовано, що чим тривалішим є час затримки дихання, тим краще здатність серцево-судинної і дихальних систем забезпечувати видалення з організму вуглекислого газу, і краще їх функціональні можливості. Натомість, при захворюваннях органів дихання та кровообігу тривалість затримки дихання зменшується. Показники, отримані за допомогою цих методів, дають уявлення про кисневе забезпечення організму і загальний рівень тренуваності людини [27, 29; 40].

Проби з затримкою дихання можна застосувати у звичайній шкільній обстановці, вони прості, не вимагають спеціальної апаратури.

### ***Проба Штанге (затримка дихання на вдиху)***

Для проведення проби знадобиться секундомір. До основного тестування необхідно виміряти пульс за 30 секунд в положенні стоячи.

Під базовою затримкою дихання на вдиху розуміється затримка з «нейтральним» тиском в легенях, тобто коли тиск всередині легких і тиск зовні грудної клітини однаково. В такому стані грудна клітка максимально розслаблена. Затримка на вдиху виконується з об'ємом повітря приблизно рівним  $2/3$  від максимально можливого вдиху.

Інструкція досліджуваному. Сядьте. Після короткого відпочинку сидячи зробіть 2-3 глибоких, повних вдихи і видихи, а потім, зробивши спокійний вдих приблизно на  $2/3$  від повного, затримайте дихання. Ніс краще затиснути пальцями (або спортивним затискачем для плавання). Зафіксувати час від початку затримки дихання до її припинення. Відразу після відновлення дихання знову підраховується пульс за 30 секунд.

Результат оцінюють по таблиці 2.1:

Таблиця 2.1

### Оцінка проби Штанге

Оцінка стану	Затримка дихання, сек
Відмінно	Більше 60
Гарно	40 – 60
Середнє	39 – 30
Погано	Менше 30

Зазвичай задовільним (нормальним) показником є здатність затримати дихання на вдиху на 40-50 секунд для нетренованих людей і на 60-90 секунд для тренованих. З наростанням тренованості час затримки дихання зростає. При захворюванні або перевтомі цей час знижується до 30-35 секунд і менше.

Крім тривалості затримки дихання на вдиху, необхідно виміряти зміну пульсу (ЧСС) і обчислити значення ПР (показник реакції ЧСС). Показник реакції дорівнює відношенню пульсу (за 30 секунд) після проби, до вихідного пульсу досліджуваного.

$$ПР = \frac{\text{ЧСС після проби}}{\text{ЧСС до проби}}$$

У здорових людей цей показник не повинен перевищувати 1,2. В іншому випадку можна говорити про несприятливу реакцію серцево-судинної системи на нестачу кисню.

### ***Проба Генчі (затримка дихання на видиху)***

До основного тестування необхідно виміряти пульс за 30 секунд в положенні стоячи.

Інструкція досліджуваному. Сядьте. Після 2-3 глибоких вдихів-видихів глибоко видихніть і затримайте дихання на максимально можливий час. Зафіксуйте час від початку затримки дихання до її припинення. Під час затримки можна користуватися спортивним

затискачем для носа або тримати ніс пальцями. Як і в попередньому тесті, потрібно виміряти пульс за 30 секунд відразу після відновлення дихання.

Результат оцінюють по таблиці 2.2:

Таблиця 2.2

### Оцінка проби Генчі

Оцінка стану	Затримка дихання, сек
Відмінно	Більше 40
Гарно	40 – 31
Середнє	25 – 30
Погано	Менше 25

Хорошим показником є здатність затримати дихання на видиху на 30 секунд і більше. Треновані люди здатні затримувати дихання більше, ніж на 60 секунд.

Відразу ж після проведення проби (як тільки досліджуваний починає дихати), знову підраховується пульс. Показник реакції (ПР) дорівнює відношенню пульсу (ЧСС, частота серцевих скорочень) після проби, до вихідного пульсу досліджуваного.

$$\text{ПР} = \frac{\text{ЧСС після проби}}{\text{ЧСС до проби}}$$

Показник реакції у здорової людини не повинен перевищувати 1,2 (більш висока цифра означає несприятливу реакцію серцево-судинної системи на недолік кисню).

### ***Проба Серкіна (трифазна затримка дихання)***

Затримка на вдиху виконується з об'ємом повітря приблизно рівним 2/3 від максимально можливого вдиху.

Інструкція досліджуваному. Перед початком тесту 3-5 хвилин відпочиньте і зробіть 2-3 глибоких вдиху і видиху. Ніс краще затискати пальцями. Час від часу затримки дихання до її припинення.

Перша фаза: після п'ятихвилинного відпочинку сидячи визначте час затримки дихання на вдиху в положенні сидячи.

Друга фаза: виконайте 20 присідань за 30 секунд (стандартне навантаження) і повторіть затримку дихання на вдиху в положенні стоячи.

Третя фаза: після відпочинку стоячи протягом однієї хвилини повторіть першу фазу - визначте час затримки дихання на вдиху в положенні сидячи.

Результат оцінюють по таблиці 2.3:

*Таблиця 2.3*

**Показники проби Серкіна у різних категорій людей**

Досліджувані	Час затримки		
	1	2	3
Здоровий тренований	60	30 та ↓	60
Здоровий нетренований	40 – 59	15 – 29	35 – 65
Із прихованим недоліком	20 – 39	14 та ↓	34 та ↓

Кожну з проб можна проводити повторно, тільки рекомендується витримати інтервал в межах 5 хвилин.



### РОЗДІЛ 3. АНАЛІЗ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

#### 3.1. Показники затримки дихання на видиху у старшокласників

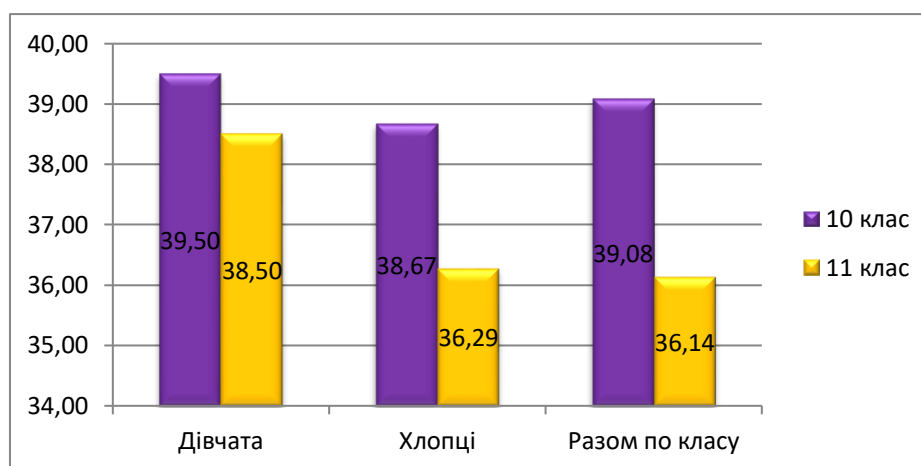
Ми визначили час затримки дихання на видиху у старшокласників 10 та 11 класів. Були отримані наступні показники, які характеризують стан функціональних можливостей системи зовнішнього дихання (таблиця 3.1).

*Таблиця 3.1*

#### Показники часу затримки дихання на вдиху у досліджуваних старшокласників, сек

№	Стать	10 клас			11 клас		
		Затримка, сек	ЧСС, уд/хв		Затримка, сек	ЧСС, уд/хв	
			До затримки	Після затримки		До затримки	Після затримки
1	ж	24	72	82	43	70	84
2	ж	37	68	76	39	60	66
3	ж	42	72	70	34	62	67
4	ж	36	66	68	38	68	73
5	ж	38	64	69			
6	ж	36	68	70			
7	ж	59	66	74			
8	ж	44	62	66			
9	ж	24	72	82			
1	ч	32	64	79	36	67	73
2	ч	49	68	70	39	62	64
3	ч	42	64	69	34	38	70
4	ч	36	62	66	40	65	67
5	ч	37	60	67	42	60	62
6	ч	36	64	68	29	73	82
7	ч				34	65	60

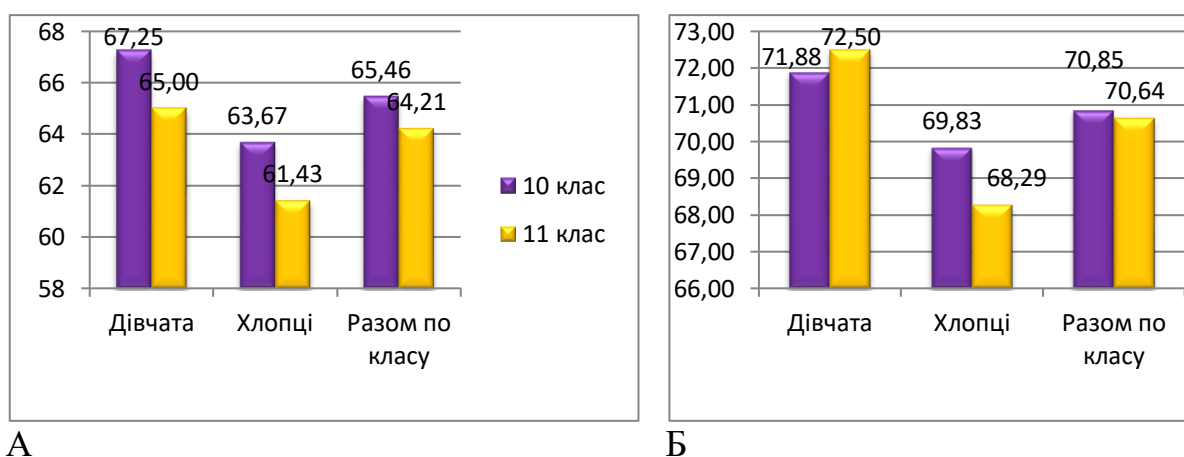
Усереднені показники представлено на рис. 3.1. Як можна бачити із даних, у 10 класі хлопці мають показники затримки дихання на видиху гірші ніж у дівчат (відповідно, 38,67 сек. та 39,50 сек.). Також гіршими є такі показники у хлопців у 11 класі (відповідно, 36,29 сек. та 38,50 сек.)



**Рис 3.1. Середні показники проби Генча у досліджуваних старшокласників, сек**

Такими ж були показники і при порівнянні результатів разом по класам. Ми з'ясували, що в середньому затримка дихання на вдиху є більшою у учнів 10 класу як у хлопців, так і у дівчат.

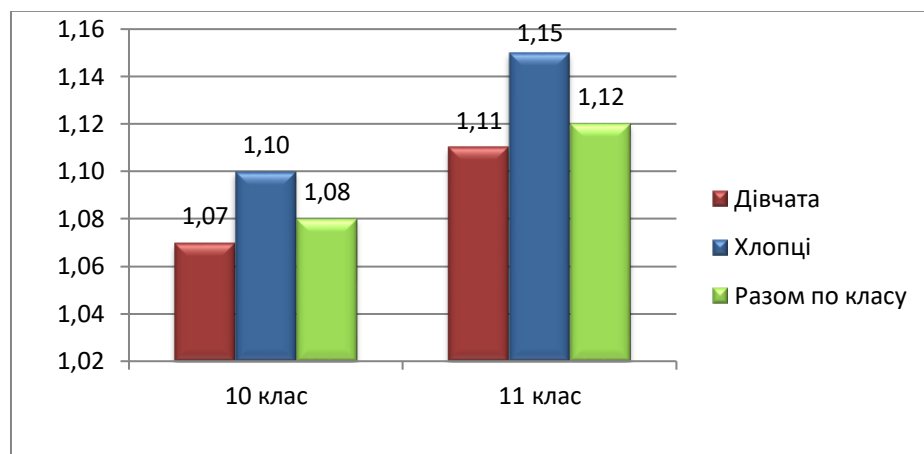
Важливим є з'ясування як серцево-судинна система реагує на затримку дихання при кисневому голодуванні (проба на видиху). Результати представлені у таблиці 3.1 та на рисунку 3.2.



**Рис. 3.2. Показники частоти серцевих скорочень до (А) та після (Б) проби Генче, уд/хв**

Як можна бачити, дівчата характеризувалися більшою частотою серцевих скорочень. Також показано, що в 10 класі ЧСС була нижчою ніж у учнів 11 класу.

Також ми розраховали показник реакції ЧСС, який у нормі не повинен перевищувати 1,2 (рис. 3.3).



**Рис. 3.3. Показники реакції ЧСС у досліджуваних учнів, у.о.**

Можно бачити, що показники реагування серцево-судинної системи на пробу Генче були кращими у учнів 10 класу, а якщо порівнювати хлопців та дівчат – то у дівчат.

### 3.2. Показники затримки дихання на вдиху у старшокласників

Також ми визначили час затримки дихання на вдиху у учнів 10 та 11 класів (табл. 3.2). Відомо, що чим тривалішим є час затримки дихання, тим краще здатність серцево-судинної і дихальних систем забезпечувати видалення з організму вуглекислого газу, і краще їх функціональні можливості.

*Таблиця 3.2*

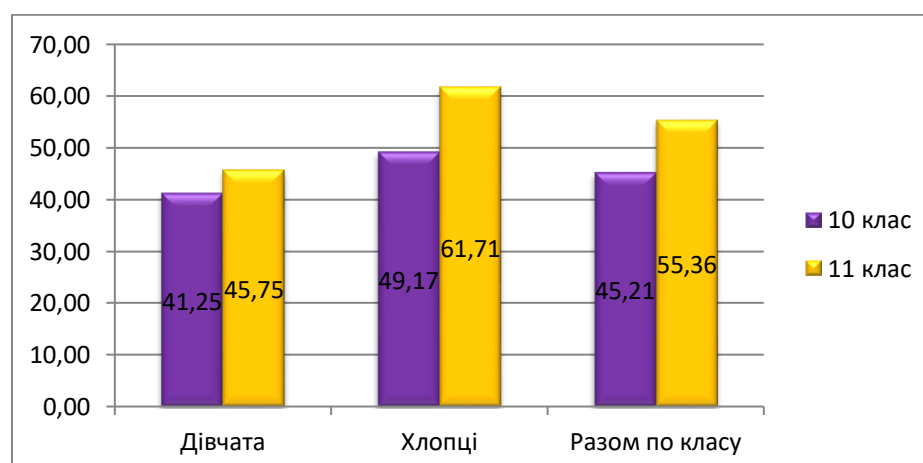
#### **Показники часу затримки дихання на видиху у досліджуваних старшокласників, сек**

№	Стать	10 клас			11 клас		
		Затримка, сек	ЧСС, уд/хв		Затримка, сек	ЧСС, уд/хв	
			До затримки	Після затримки		До затримки	Після затримки
1	ж	32	68	70	46	70	84
2	ж	49	66	74	56	68	73

## Продовження таблиці 3.2

№	Стать	10 клас			11 клас		
		Затримка, сек	ЧСС, уд/хв		Затримка, сек	ЧСС, уд/хв	
			До затримки	Після затримки		До затримки	Після затримки
3	ж	42	72	70	42	60	66
4	ж	35	62	66	39	62	67
5	ж	39	64	69			
6	ж	42	72	82			
7	ж	46	66	68			
8	ж	45	68	76			
9	ж	32	68	70			
1	ч	33	64	79	49	67	73
2	ч	49	60	67	55	73	82
3	ч	56	68	70	56	65	60
4	ч	67	62	66	90	65	67
5	ч	44	64	69	64	62	64
6	ч	46	64	68	69	60	62
7	ч				49	60	62

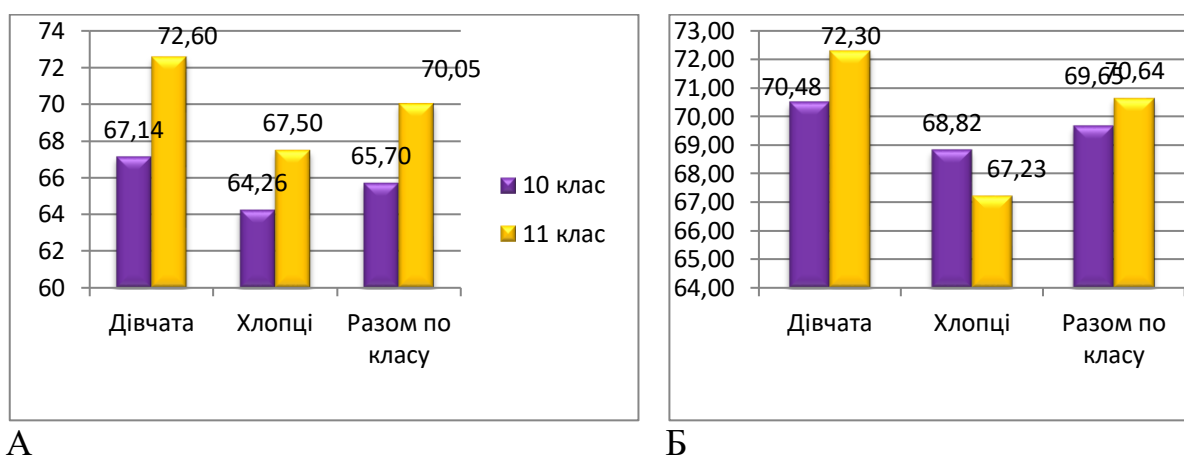
Ми розрахували середні показники по затримці дихання на видиху, які представлено на рис. 3.4. Як можна бачити із даних, у 10 та 11 класах хлопці мають кращі показники затримки дихання на вдиху ніж у дівчат (відповідно, у 10 класі 49,17 сек. та 41,25 сек.; у 11 класі 61,71 сек. та 45,75 сек).



**Рис 3.4. Середні показники затримки дихання на вдиху у досліджуваних старшокласників, сек**

Такими ж були показники і при порівнянні результатів разом по класам. Ми з'ясували, що в середньому затримка дихання на вдиху є більшою у учнів 11 класу як у хлопців, так і у дівчат.

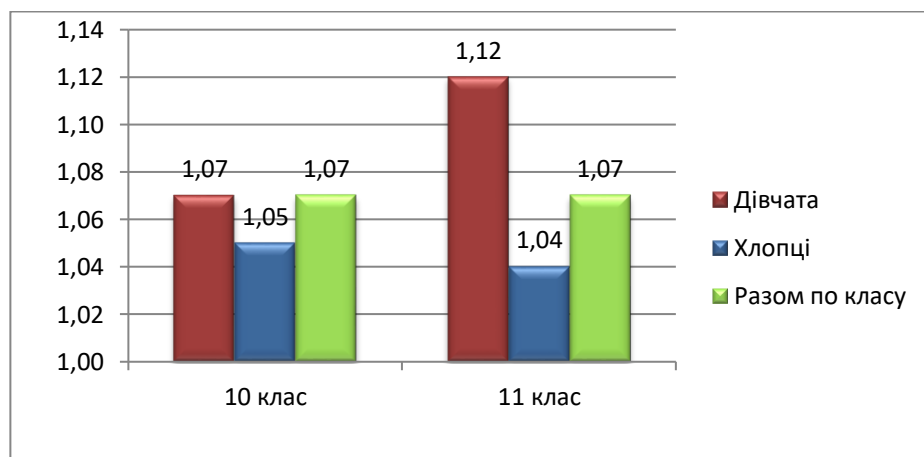
Важливим є з'ясування як серцево-судинна система реагує на затримку дихання. Результати представлені у таблиці 3.2 та на рисунку 3.5.



**Рис. 3.5. Показники частоти серцевих скорочень до (А) та після (Б) затримки дихання на вдиху, уд/хв**

Як можна бачити, дівчата мають більшу частоту серцевих скорочень. Також показано, що в 10 класі ЧСС була нижчою ніж у учнів 11 класу, що свідчить про кращі функціональні можливості кардіореспіраторної системи.

Також ми розраховали показник реакції ЧСС, який у нормі не повинен перевищувати 1,2 (рис. 3.6).



**Рис. 3.6. Показники реакції ЧСС у досліджуваних учнів, у.о.**

Можна бачити, що показники реагування серцево-судинної системи на затримку дихання на вдиху були кращими у учнів 10 класу. Звертають увагу усереднені показники дівчат-одинадцятикласниць, які були дуже низькими у порівнянні із показниками хлопців та із показниками учениць 10 класу.

## ВИСНОВКИ

1. З'ясовано, що в цілому старшокласники мають достатні функціональні резерви системи дихання. Так, середній час затримки дихання на видиху складає у учнів 10 класу 39,08 сек, а у учнів 11 класу - 36,14 сек. Зафіксовано, що у десятикласників функціональні резерви краще ніж у одинадцятикласників. Дівчати мають кращий час затримки дихання ніж хлопці.
2. Оцінка функціональних показників зовнішнього дихання за часом затримки дихання на вдиху показала, що кращі функціональні резерви мають учні 11 класів у порівнянні із учнями 10 класів. Так, середній час затримки дихання на видиху складає у учнів 10 класу 45,31 сек, а у учнів 11 класу - 55,36 сек. Показники дівчат за цим показником виявилися гіршими ніж у хлопців і в 10, і в 11 класах.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Аврунин О.Г. Методы и средства функциональной диагностики внешнего дыхания / О.Г. Аврунин, Р.С. Томашевский, Х.И. Фарук. – Х.: ХНАДУ, 2015. – 208 с.
2. Агаджанян Н. А. Адаптация к гипоксии и биоэкономика внешнего дыхания / Н. А. Агаджанян. – М. : УДН, 1987. – 186 с.
3. Агаджанян Н.А. Проблемы адаптации и учение о здоровье / Н.А. Агаджанян, Р.М. Баевский, А.П. Берсенева. – Изд-во РУДН. 2006. – 284 с.
4. Бурханова И. Ю. Развитие функциональных возможностей дыхательной системы подростков специальной медицинской группы / И.Ю. Бурханова, А.Д. Иванов, С.В. Бурханов, М.А. Веряскин // Известия ТулГУ. Физическая культура. Спорт. 2020. - №1. – С. 3-10.
5. Ванюшин Ю.С. Функциональное взаимодействие сердечно-сосудистой и дыхательной систем при тестирующих нагрузках / Ю.С. Ванюшин, Н.А. Федоров, Н.О. Кузнецова // Педагогико-психологические и медико-биологические проблемы физической культуры и спорта. 2020. №1. С 169-175.
6. Варламова Н.Г. Особенности функции внешнего дыхания у северян в годовом цикле / Н.Г. Варламова, Е.Р. Бойко // Морская медицина. - № 3(3). - 2017. С - 43-49.
7. Гаттаров Р. У. Система внешнего дыхания и морфометрические показатели студентов Южно-Уральского государственного университета в период реализации целевой программы «Образование и здравоохранение» / Р.У.Гаттаров, С.М.Зубков, В.В.Эрлих // Человек. Спорт. Медицина. 2005. №4 (44). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sistema-vneshnego-dyhaniya-i->



[morfometricheskie-pokazateli-studentov-yuzhno-uralskogo-gosudarstvennogo-universiteta-v-period](#)

8. Грибан Г. П. Аналіз причин і наслідків низького стану здоров'я студентської молоді / Г. П Грибан // Науково-педагогічні проблеми фізичної культури / фізична культура і спорт. – 2011. – Т. 15, №. 10. – С. 207–211.
9. Гудков А. Б. Проходимость воздухоносных путей у детей старшего школьного возраста жителей Европейского Севера / А.Б. Гудков, О.Н. Кубушка // Физиология человека. – 2006. – № 3. – С. 84–91.
10. Гудков А.Б. Внешнее дыхание человека на Европейском Севере / А.Б. Гудков, О.Н. Попова. – Архангельск, 2009. – С. 286.
11. Доклад о состоянии здравоохранения в мире 2005 г. – Действия общественного здравоохранения в целях улучшения здоровья детей и его населения. – Женева, Всемирная организация здравоохранения. – 2005. – 153 с.
12. Дубогай О. Д. Методика фізичного виховання студентів спеціальної медичної групи : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. / О. Д. Дубогай, А. В. Цьось, М. В. Євтушок. – Луцьк : Східноєвроп. нац. ун-т ім. Л. Українки, 2012. – 276 с.
13. Красильникова В.А. Оценка состояния системы внешнего дыхания студентов тувинского государственного университета в зависимости от типов конституции / В.А.Красильникова, И.В. Бурхинова // Вестник Тувинского государственного университета. Естественные и сельскохозяйственные науки. 2018. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-sostoyaniya-sistemy-vneshnego-dyhaniya-studentov-tuvinskogo-gosudarstvennogo-universiteta-v-zavisimosti-ot-tipov-konstitutsii>
14. Личагина С. А. Состояние системы внешнего дыхания у юных дзюдоистов 1117 лет / С. А.Личагина, А.П.Исаев, В.Р. Юмагуен //

- Человек. Спорт. Медицина. 2005. №4 (44). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sostoyanie-sistemy-vneshnego-dyhaniya-u-yunyh-dzyudoistov-1117-let>
15. Лісовський Б. Особливості зовнішнього дихання у студентів з різним рівнем соматичного здоров'я / Б. Лісовський // Вісник Львівського університету. – Серія біологічна. – 2009. – Вип. 51. – С. 212–217.
16. Лысенко С.Г., Баев О.А. Адаптация внешнего дыхания к физическим нагрузкам // Вестник Луганского национального университета имени Тараса Шевченка. – 2009. – №2 (165). – С.79-85.
17. Макарова Е. В. Курение у лиц молодого возраста: частота, влияние на функцию лёгких и сывороточный уровень растворимых молекул адгезии / Е.В.Макарова, М.Л.Шония, Н.А.Любавина, Н.В.Меньков, С.Г.Сальцев, Г.Н.Варварина, В.В. Новиков // Архивъ внутренней медицины. 2014. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kurenie-u-lits-molodogo-vozrasta-chastota-vliyanie-na-funktsiyu-lyogkih-i-syvorotochnyy-uroven-rastvorimyh-molekul-adgezii>
18. Мальцев В.П. Функциональное состояние системы внешнего дыхания студенток с разным типом телосложения / В.П. Мальцев, Е.В. Григорьева // Успехи современной науки и образования. - № 2.3. – 2017. – С. 111-113.
19. Мальцева Е.А. Параметры внешнего дыхания у студентов / Е. А.Мальцева, Л.А.Михайлова // Сибирское медицинское обозрение. 2008. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/parametry-vneshnego-dyhaniya-u-studentov>
20. Михайлова Л. А. Динамика физической подготовленности и показателей внешнего дыхания у девушек-подростков, обучающихся по специальной учебной программе / Л.А.Михайлова, С.И.Кимяева // Человек. Спорт. Медицина. 2013. №1. URL:

<https://cyberleninka.ru/article/n/dinamika-fizicheskoy-podgotovlennosti-i-pokazateley-vneshnego-dyhaniya-u-devushek-podrostkov-obuchayuschihsya-po-spetsialnoy-uchebnoy>

21. Михайлова Л.А. Влияние двигательной активности на состояние системы внешнего дыхания старшеклассников, имеющих повышенные учебные нагрузки / Л.А.Михайлова, С.И.Кимяева // Сибирское медицинское обозрение. 2012. №5. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-dvigatelnoy-aktivnosti-na-sostoyanie-sistemy-vneshnego-dyhaniya-starsheklassnikov-imeyuschih-povyshennye-uchebnye-nagruzki>
22. Михайлова Л.А. Динамика физической подготовленности и показателей внешнего дыхания у юношей-подростков, обучающихся по специальной учебной программе / Л.А.Михайлова, С. И.Кимяева // Человек. Спорт. Медицина. 2012. №21 (280). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/dinamika-fizicheskoy-podgotovlennosti-i-pokazateley-vneshnego-dyhaniya-u-yunoshey-podrostkov-obuchayuschihsya-po-spetsialnoy-uchebnoy-1>
23. Михайлова Л.А. Особенности внешнего дыхания у детей в условиях промышленного города / Л.А.Михайлова, А.В.Матыскин // Сибирское медицинское обозрение. 2009. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-vneshnego-dyhaniya-u-detey-v-usloviyah-promyshlennogo-goroda>
24. Михайлова Л.А. Паттерн внешнего дыхания у лиц юношеского возраста, проживающих в сельской и городской местности / Л.А.Михайлова, Е.А. Мальцева // Сибирское медицинское обозрение. 2009. №3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/pattern-vneshnego-dyhaniya-u-lits-yunosheskogo-vozrasta-prozhivayuschih-v-selskoy-i-gorodskoy-mestnosti>
25. Мохнаткина С.С. Особенности показателей внешнего дыхания студентов разной физической тренированности / С.С. Мохнаткина,

- С.Ф. Лукина // Международный студенческий научный вестник. - № 4-3. – 2016. - С 294-297.
26. Мужиченко М. В. Исследование особенностей внешнего дыхания и вариабельности сердечного ритма у студентов с различными типами конституции / М.В. Мужиченко, Е.Ю. Надежкина, Е.И. Новикова, Т.Г. Щербакова // Вестник Волгоградского государственного медицинского университета. -№1 (69). - 2019. – С. 37-40.
27. Ошевенский Л.В. Изучение состояния здоровья человека по функциональным показателям организма [Методические указания] / Л.В. Ошевенский, Е.В. Крылова, Е.А. Уланова. 2007. Режим доступа: URL: <https://www.twirpx.com/file/1638900/>
28. Полянская М.А. Спирометрия в оценке нарушений функции дыхательной системы / М.А. Полянская // Здоров'я України– 2008. – №3/1. – С. 48–49.
29. Пробы Штанге, Генчи и Серкина (тесты на кислородное обеспечение организма) [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://медитация.рф/дыхательные-практики/3440-пробы-штанге,-генчи-и-серкина-тесты-на-кислородное-обеспечение-организма>
30. Радзиевская М.П. Анализ зависимости образа жизни и некоторых параметров заболеваемости органов дыхания детей 7 – 9 лет в Польше и Украине / М.П. Радзиевская, Я. Кнотович, П.А. Радзиевский, Т.Г. Дыба, Т.В. Нестерова, Е.В. Дыба // ППМБПФВС. 2013. №10. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-zavisimosti-obraza-zhizni-i-nekotoryh-parametrov-zabolevaemosti-organov-dyhaniya-detey-7-9-let-v-polshe-i-ukraine>
31. Регуляция дыхания [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://kineziolog.su/content/regulyaciya-dyhaniya>.
32. Роднаева О.А. Оценка физического состояния организма учащихся старших классов / О.А. Роднаева, М.В. Аюрзанаева // Вестник

- Бурятского государственного университета. Биология. География. 2012. №4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-fizicheskogo-sostoyaniya-organizma-uchaschihsya-starshih-klassov>
- 33.Сахарчук І. І. Клінічна пульмонологія / за ред. І. І. Сахарчука. – К. : Книга-плюс, 2003. – 368 с.
- 34.Соколенко В.М. Фізіологія системи дихання Модуль 2. Фізіологія вісцеральних систем / В.М.Соколенко, Л.Е.Весніна, М.Ю.Жукова, І.В.Міщенко, О.В.Ткаченко. – Полтава. 160 с.
- 35.Турчина Н. І. Дослідження здоров'я та рівня фізичного розвитку у студентів / Н. І. Турчина, Г. В. Коробейніков, Ю. А. Попадюха // Педагогіка, психологія та методико-біологічні проблеми фізичного виховання та спорту. – 2010. – №. 12. – С. 150–152.
- 36.Уэст Д.Б. Физиология дыхания / Д.Б. Уэст; под. общ. ред. А.М. Генина. – 3-е изд. – М.: Мир, 1988. – 200 с.
- 37.Физиология. Основы и функциональные системы: Курс лекций/Под ред. К.В. Судакова.— М.: Медицина, 2000.- 784 с.
- 38.Футорний С. Характеристика стану здоров'я студентів вищих навчальних закладів / С. Футорний, О. Рудницький // Теорія і методика фізичного виховання і спорту. – 2013. – № 2. – С. 99–105.
- 39.Харисова Н. М. Показатели внешнего дыхания у практически здоровых студентов / Н. М. Харисова, Е. Г. Комкина, А. К. Кайбогарова, Ш. Ш. Сарсембаева, А. Ш. Сарсембаева, А. М. Жашкеева // Медицина и экология. 2016. №3 (80). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/pokazатели-vneshnego-dyhaniya-u-prakticheski-zdorovyh-studentov>
- 40.Шмалей С.В. , Гайдай М.І., Кравченко Ю.В., Гасюк О.М. Методичні розробки лаб.занять з фізіології людини та тварин. Ч.2.[Текст]: для студ. всіх спец.та форм навч./укл. Херсон:Видавництво ХНТУ, 2002. - 80с.

- 41.Шульпина В. П. Реализация дифференцированного подхода в процессе совершенствования дыхательной функции школьников с различным состоянием здоровья / В.П. Шульпина // Омский научный вестник. - № 2 (66). – 2008. С. 158-162.
- 42.Ячменев Н.В. Функциональные показатели кардиореспираторной системы и физическая работоспособность школьников 1-11-х классов при разных формах организации уроков физической культуры / Н.В. Ячменев, В.В. Рубанович //Теория и практика физической культуры. - №11.- 2016. – С. 101-104.