

Міністерство освіти і науки України

Національний технічний університет  
«Харківський політехнічний інститут»

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ**  
**ВИВЧЕННЯ ПРИНЦИПУ ДІЇ ПРИБАДУ**  
**ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ДИХАЛЬНОЇ**  
**СИСТЕМИ ЛЮДИНИ**

# 1 ДОСЛІДЖЕННЯ ФУНКЦІЇ ЗОВНІШНЬОГО ДИХАННЯ

## 1.1 Обрані питання клінічної фізіології дихання

Дихання є однією з найважливіших фізіологічних функцій організму людини і являє собою газовий обмін між зовнішнім середовищем і організмом, при якому споживається кисень, виділяється вуглекислий газ і утворюється енергія, необхідна для клітинного метаболізму.

Ефективний газообмін можливий лише при інтеграції й координації функцій різних органів. Цей процес складається із зовнішнього (легеневого) подиху, транспорту газів кров'ю й газообміну в тканинах (тканинний або внутрішній подих). Зовнішній подих, у свою чергу, складається із трьох етапів: вентиляції - обмін повітря між навколишнім середовищем і альвеолами; дифузії газів через альвеолярно-капілярну мембрану та перфузії крові в легневих капілярах.

Випадіння хоча б одного із цих процесів призводить до порушень дихання й спричиняє до  $\frac{3}{4}$  випадків розвитку дихальної недостатності.

Таким чином, дослідження вентиляції легенів і газообміну, визначення парціального тиску кисню й вуглекислого газу в артеріальній і венозній крові необхідні для діагностики дихальної недостатності.

Необхідна вентиляція легенів забезпечується погодженою роботою регулюючих систем, властивостями паренхіми легенів, дихальною мускулатурою, кістково-м'язовим каркасом грудної клітини. Газообмін в легенях залежить від сумарної площі активних альвеол, властивостей сурфактанту й стану малого кола кровообігу. Враховуючи методичну складність дослідження газообміну в легенях, такі процедури проводяться в спеціалізованих пульмонологічних і фтизіатричних установах.

Вентиляція легенів – це двофазний процес періодичної зміни вдиху і видиху. Здійснюється ритмічними скороченнями дихальної мускулатури. При вдиху в альвеолах виникає негативний тиск, і повітря з атмосфери починає надходити в легені. Обсяг повітря, що вдихається, та швидкість його руху визначаються динамікою розвитку м'язового зусилля, опором дихальних шляхів і здатністю легенів розтягуватися. Наприкінці вдиху тиск в альвеолах стає рівним атмосферному, і рух повітря по трахеобронхіальному дереву припиняється.

Енергії, що запасена при розтягненні легенів, досить, щоб видих при спокійному диханні виконувався пасивно. Мускулатура при видиху включається тільки у випадку посиленні вентиляції. У фазі видиху тиск в альвеолах перевищує атмосферний і відбувається виштовхування повітря з легенів.

Залежно від потреб організму, зовнішніх умов і стану дихальної системи вентиляційні процеси можуть приймати різні форми. У звичайних умовах, під час спокійного дихання, використовується лише невелика частина вентиляційних можливостей організму. Поява й збільшення фізичного навантаження поступово переводить дихальний процес в режим

максимальної вентиляції легенів, що характеризується максимальним поглибленням та збільшенням частоти дихання.

Різні за своїм генезом патологічні процеси в легенях можуть викликати подібну клінічну симптоматику (задишку, ціаноз, кашель та ін.). Диференціація цих станів можлива при дослідженні як вентиляції легенів, так і газообміну. З огляду на високу інформативність і методичну доступність вентиляційних проб, у клінічній практиці частіше проводяться дослідження вентиляції легенів, ніж дослідження обміну газів. На сьогоднішній день такий підхід є загальноприйнятим.

З урахуванням потреб клінічної оцінки функції дихання виділяють два типи вентиляційної недостатності: обструктивний і рестриктивний, а також порушення змішаного типу.

**Обструктивні порушення** вентиляції легенів пов'язані з порушенням проходження повітря до альвеол. Вони можуть бути зумовлені як нелегеневиими причинами (обструкція або деформація верхніх повітрянесучих шляхів, патологія гортані, сторонні предмети та ін.), так і рядом патологічних процесів бронхів і легенів: спазмом гладкої мускулатури бронхів, запальною інфільтрацією або набряком слизової бронхів, збільшенням кількості або в'язкості секрету в бронхах, їхньою деформацією внаслідок різних причин, експіраторним колапсом бронхів й інших причин.

**Рестриктивні порушення** можуть бути зумовлені як легеневиими, так і нелегеневиими факторами. Найпоширенішими легеневиими причинами є інфільтративні й запальні зміни легеневої тканини, пневмосклероз, фіброз легенів, зменшення обсягу легенів внаслідок операції, ателектазу або вродженої гіпоплазії й ін. Серед нелегеневих факторів розвитку рестриктивних порушень домінує патологія плеври, пневмоторакс, патологія кістково-м'язового апарату грудної клітини, зниження рухливості діафрагми внаслідок різних причин, включаючи захворювання черевної порожнини й болючий синдром. Рестриктивні порушення дихання можуть викликатися серцевою недостатністю з виникненням застою в малому колі кровообігу й інших причин.

Порушення **змішаного типу** викликаються комбінацією різних причин. При діагностиці цих порушень часом буває складно виділити, який з патологічних процесів - обструкція або рестрикція – є домінуючим. Однак таке виділення важливо з клінічної точки зору.

Навіть при нормальній вентиляційній функції легенів може розвиватися дихальна недостатність внаслідок порушень на інших етапах процесу дихання. У таких випадках необхідно проводити не тільки діагностику газообміну в легенях, але й досліджувати газотранспортну систему крові й тканинне дихання. Дослідження вентиляційної функції легенів при цьому носить другорядний характер, однак обов'язково використовується в комплексній оцінці стану пацієнта.

## 1.2 Способи дослідження вентиляції легенів

На сьогоднішній день при дослідженні ФЗД вимірюють обсяги різних фаз дихального циклу та швидкості потоків на вдиху й видиху. Дослідження проводяться при спокійному або форсованому диханні.

**Спірометрія** – метод виміру дихальних обсягів. При графічній реєстрації результатів дослідження одержують графік, який називається спірограма, по осі абсцис (горизонтальній) якої відкладають час, а по осі ординат (вертикальній) - обсяг. Спірометрія веде відлік своєї історії з 1846р., коли британський лікар Дж. Хатчинсон (J. Hutchinson) розробив спірограф з водяним затвором (рис 1.1).

Сидячи, пацієнт дихає в камеру, що являє собою занурений у ємність із водою рухливий циліндр. Зміни обсягу легенів реєструються як зміна обсягу циліндра, з'єднаного з барабаном. Барабан обертається з певною швидкістю, папір на барабані калібрований і дозволяє вимірювати зміни обсягу легенів і швидкості потоку повітря.

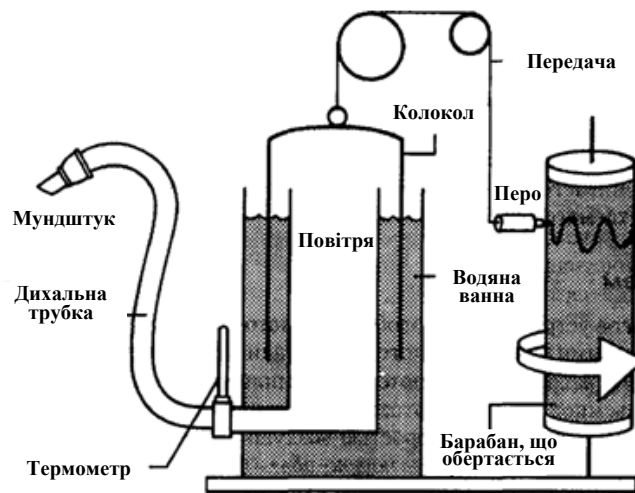


Рисунок 1.1 – Водяний спірометр

**Пневмотахометрія** – метод виміру потоку (об'ємної швидкості) повітря при спокійному або форсованому видиху. Піонером у цій області був швейцарський фізіолог й інженер А.Флейш (A.Fleisch) Він сконструював в 1925р. прилад для реєстрації об'ємної швидкості потоків повітря. Такий прилад одержав назву «пневмотахограф». Оскільки швидкість потоку повітря при видиху не є постійною, то вимірюють або максимальні (пікові) значення швидкості (підфлуометрами), або досліджують динаміку потоку в різні фази дихального циклу. Аналіз співвідношення швидкості потоку форсованого видиху і його обсягу (петля «потік-обсяг») дозволяє визначити порушення ФЗД.

Існують й інші способи дослідження ФЗД (плетизмографія, вимірювання концентрації газів і т. і.), однак такі методи вимагають складної апаратної частини і значних часових ресурсів, тому використовуються в медичній практиці у виняткових випадках.

### 1.3 Основні легеневі об'єми

Легеневий об'єм – це кількість повітря, що утримується в легенях у різні фази подиху. Сума декількох об'ємів називається ємністю. Статичні об'єми визначають при спокійному диханні, а динамічні - при форсованому. Основні легеневі об'єми і ємності можуть бути визначені зі спірограми (рис. 1.2).

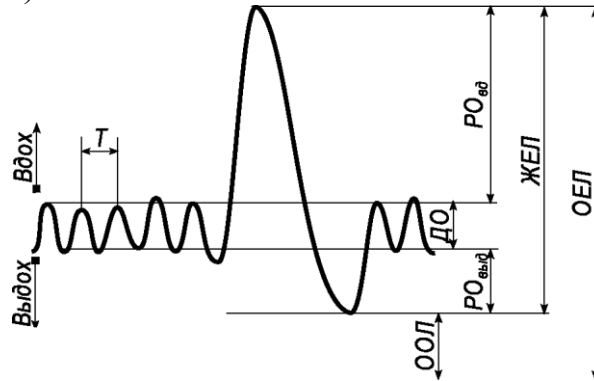


Рисунок 1.2 – Спірограма спокійного подиху й дихальний маневр визначення ЖЄЛ

Дихальний об'єм (ДО) – це об'єм повітря, що надходить у легені під час вдишу. Оскільки дихання є довільним процесом і піддається певній варіабельності, то при вимірі ДО звичайно беруть середнє арифметичне значень (від 3 до 6) циклів дихання. У стані спокою ДО дорослої людини становить 500-800мл.

Частина ДО, що досягає альвеол і приймає участь у газообміні, називається **альвеолярним обсягом (АО)**. У нормі АО становить близько 60-70% ДО, інша частина ДО є **функціонально мертвим простором (ФМП)**. Вимір АО і ФМП прямими спірометричними методами неможливий, для цього використовують метод розведення газів.

**Частота дихання (ЧД)** - число дихальних циклів, що здійснюються пацієнтом протягом хвилини. На практиці ЧД обчислюється з середньої тривалості (Т) 3-6 дихальних циклів. Частота дихання піддається сильним фізіологічним коливанням і повинна визначатися в спокійному стані.

**Хвилинний об'єм дихання (ХОД або ХВЛ** - хвилинна вентиляція легенів) обчислюється за формулою  $ХОД = ЧД \times ДО$ .

ХОД визначається потребами енергетичного обміну організму. Оскільки система дихання має значні резервні можливості, ДО, ЧД, ХОД у спокої можуть трохи знижуватися.

**Резервні об'єми вдишу й видиху ( $PO_{ВД}$  і  $PO_{ВИД}$ )** – максимальні об'єми, які пацієнт може додатково вдихнути або видихнути після спокійного вдишу або видиху відповідно.

**Ємність вдишу ( $E_{ВД}$ )** дорівнює сумі ДО й  $PO_{ВД}$  і відповідає об'єму повітря, що вдихається при спокійному глибокому вдишу ( $E_{ВД} = ДО + PO_{ВД}$ ).

**Життєва ємність легенів (ЖЄЛ)** – сума ДО й  $PO$  вдишу й видиху ( $ЖЄЛ = E_{ВД} + PO_{ВИД}$ ). Інакше кажучи, ЖЄЛ – максимальний обсяг

повітря, який пацієнт може вдихнути після максимального видиху. Як й  $E_{ВД}$ ,  $ЖЄЛ$ , у першу чергу, знижується при рестриктивній патології. Розрахувати  $ЖЄЛ$  можна за формулою:  $ЖЄЛ = ДО + РО_{ВД} + РО_{ВИД}$

**Залишковий обсяг легенів (ЗОЛ)** – обсяг повітря, що залишається в легенях після повного видиху. Цей показник не може бути вимірний прямою спірометрією, для його визначення використовуються методи розведення гелію або «вимивання» азоту киснем.

**Загальна ємність легенів (ЗЄЛ)** дорівнює сумі  $ЖЄЛ$  й  $ЗОЛ$ .  $ЗЄЛ$  – максимальний обсяг, що можуть вмістити легені при максимальному вдиху ( $ЗЄЛ = ЖЄЛ + ЗОЛ$ ).  $ЗОЛ$  у молодих осіб становить 25–30% від  $ЗЄЛ$ , у літніх людей – до 35%.

**Функціональна залишкова ємність легенів ( $ФЗЄ$ )** – обсяг повітря, що залишається в легенів після спокійного видиху, тобто  $ФЗЄ = ЗОЛ + РО_{ВИД}$ .

При підвищенні рівня обміну речовин в організмі відбувається збільшення як дихального об'єму, так і частоти дихання. Максимальний об'єм повітря, який організм може провентилювати протягом однієї хвилини, називається **максимальною вентиляцією легенів**:  $МВЛ = ДО_{макс} \times ЧД_{макс}$ .

Для визначення МВЛ, пацієнт дихає якнайглибше й найчастіше протягом 12-15с. Потім отримані значення екстраполюють (перераховують) на 1хв. Процедура проводять таким чином для запобігання розвитку гіпервентиляційного синдрому В сучасній спірометричній апаратурі всі обчислення виконуються автоматично й не вимагають участі медперсоналу.

#### 1.4 Крива «потік – об'єм»

Виміру лише об'ємів недостатньо для всебічної оцінки легеневої вентиляції. З часу створення пневмотахометра розвиваються дослідження швидкості потоків. На практиці звичайно обмежуються дослідженням параметрів форсованого видиху, оскільки вони мають достатню інформативність.

Графічна реєстрація форсованого видиху може здійснюватися в різних системах координат, оскільки інтерес представляє динаміка як потоку, так й об'єму. Побудувавши графіки «обсяг-час» (пневмограму) і «потік-час» форсованого видиху, при їх спільному аналізі можна детально оцінити всі фази дихального маневру, що характеризується перерахованими нижче параметрами [2,5,10,16,17,19].

Залежність потоку від об'єму будується за допомогою графоаналітичного способу [12]. На рисунку 1.3 зображено залежності витрати повітря від часу і залежність об'єму від часу, а також принцип побудови кривої «потік – об'єм» на видиху.

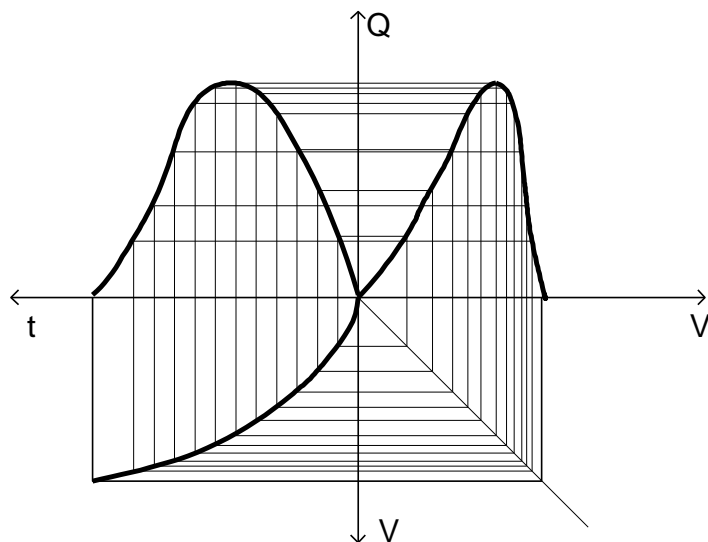


Рисунок 1.3 - Побудова кривої «потік – об'єм» на видиху за допомогою графо-аналітичного способу

Аналогічним способом будується крива «потік – об'єм» на вдиху. Побудова кривої «потік – об'єм» на видиху за допомогою графо-аналітичного способу показана на рисунку 1.4.

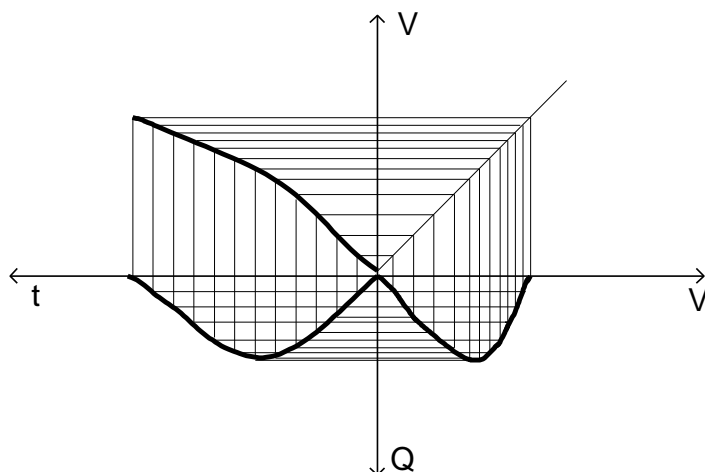


Рисунок 1.4 - Побудова кривої «потік – об'єм» на вдиху за допомогою графо-аналітичного способу

На основі аналізу цих кривих можна визначити чи є отриманий результат нормою, або обструкцією чи рестрикцією [2].

Зі спірограми визначаються об'єми, швидкості та розраховуються індекси, які необхідні для визначення порушень ФЗД пацієнта.

**Форсована життєва ємність легенів (ФЖЄЛ)** – об'єм повітря, що видихається, при форсованому видиху після максимального вдиху. Як правило, ФЖЄЛ трохи менше ЖЄЛ або дорівнює їй. Значне перевищення ФЖЄЛ над ЖЄЛ свідчить про неправильне виконання дихального маневру при вимірі ЖЄЛ.

**Максимальна ЖЄЛ** – найбільше значення ЖЄЛ, що вимірюється при спокійному глибокому й форсованому диханні:  $ЖЄЛ_{макс} = \max(ЖЄЛ, ФЖЄЛ)$ .

Під час виконання форсованого видиху, крім  $ФЖЄЛ$ , звичайно поводиться вимір ряду інших показників. Такі показники мають діапазони коливань форсованого видиху у фізіологічних умовах у дорослих та дітей. При аналізі результатів пневмотахометрії варто проводити порівняння з належними величинами.

**Пікова об'ємна швидкість видиху ( $ПОШ_{вид}$ )** – максимальна швидкість потоку під час форсованого видиху. Обсяг форсованого видиху, при якому досягнута  $ПОШ$  ( $ОФВ_{ПОШ}$ ), може використовуватися для оцінки правильності дихального маневру, значення цього показника не велике. При адекватному проведенні форсованих видихів  $ПОШ$  досягається в процесі видиху перших 20%  $ФЖЄЛ$ .

**Час досягнення  $ПОШ$  ( $T_{ПОШ}$ )** характеризує ступінь зусиль, які прикладені пацієнтом для проведення форсованого видиху. Вважається, що у пацієнтів без обструкції дихальних шляхів  $T_{ПОШ}$  не повинний перевищувати 0,1–0,12с, а при обструктивних станах – 0,18с.

**Обсяг форсованого видиху за першу секунду ( $ОФВ_1$ )** залежить, в основному, від швидкості потоку на початку й середині видиху. Окрім того, що,  $ОФВ_1$  є високочутливим показником обструкції дихальних шляхів, він також може використовуватися для оцінки динаміки зміни стану пацієнта. У ряді випадків проводиться вимір  $ОФВ_3$  – обсяг форсованого видиху за перші 3с, однак цей показник практично не має самостійного діагностичного значення.

Крім виміру  $ОФВ_1$ , звичайно обчислюють його відношення до ЖЄЛ або  $ФЖЄЛ$ . Відношення  $ОФВ_1/ЖЄЛ$  зветься **індексом Тиффно** (R. Tiffeneau), близьке до нього відношення  $ОФВ_1/ФЖЄЛ$  – **індексом Генслера** (Gaenslar). Останній має переваги, оскільки може бути визначений в одному дихальному маневрі форсованого видиху, без попереднього виміру ЖЄЛ. У ряді інструкцій рекомендується розраховувати  $IT$  по формулі  $IT = ОФВ_1/ЖЄЛ_{макс}$ , що враховує можливі відмінності між ЖЄЛ і  $ФЖЄЛ$ . Зниження індексів Тиффно й Генслера є індикатором обструктивних порушень. При рестриктивних порушеннях цей показник не змінюється або може навіть трохи збільшуватися за рахунок пропорційного зменшення всіх легневих об'ємів.

**Миттєву об'ємну швидкість ( $МОШ$ )** прийнято вимірювати на рівні 25%, 50% й 75%, іноді й 85% від  $ФЖЄЛ$  у процесі форсованого видиху на різних рівнях. Існують дві різні системи позначень  $МОШ$ .

**Середня об'ємна швидкість видиху** на рівні від 25% до 75%  $ФЖЄЛ$  відбиває стан, насамперед, середніх і дистальних відділів дихальних шляхів. Цей показник, також як і  $МОШ_{50}$ , володіє більшою, у порівнянні з  $ОФВ_1$  чутливістю й специфічністю, на початкових стадіях порушення вентиляційної функції легенів.



**Час виконання форсованого видиху ( $T_{\PhiЖЄЛ}$ )** рідко перевищує 6с. Навпроти,  $T_{\PhiЖЄЛ}$  менш 1 с, як правило, свідчить про незавершеність видиху.

На практиці графік форсованого видиху найчастіше будується в системі координат «потік-об'єм» (рис. 1.5), що має ряд переваг, оскільки дозволяє одночасно оцінити динаміку потоку й об'єму видиху. По осі абсцис (горизонтальній) відкладається об'єм, а по осі ординат - потік. Зручно, якщо масштаби осей мають співвідношення, близьке до 1:2 (тобто 1 л  $\PhiЖЄЛ$  відповідає 2 л/с за шкалою потоків). У нормі петля «потік-об'єм» здорової людини нагадує трикутник, основою якого є  $\PhiЖЄЛ$ , а висотою -  $ПОШ_{ВИД}$ .  $T_{ПОШ}$  на цьому графіку не присутній, тому його звичайно вказують поруч.

Основним достоїнством графіка «потік-об'єм» для аналізу дихального маневру полягає в тому, що, крім  $ПОШ$  і  $\PhiЖЄЛ$ , він наочно показує  $МОШ$  на різних рівнях  $\PhiЖЄЛ$ .  $СОШ$  на цьому графіку також очевидна.

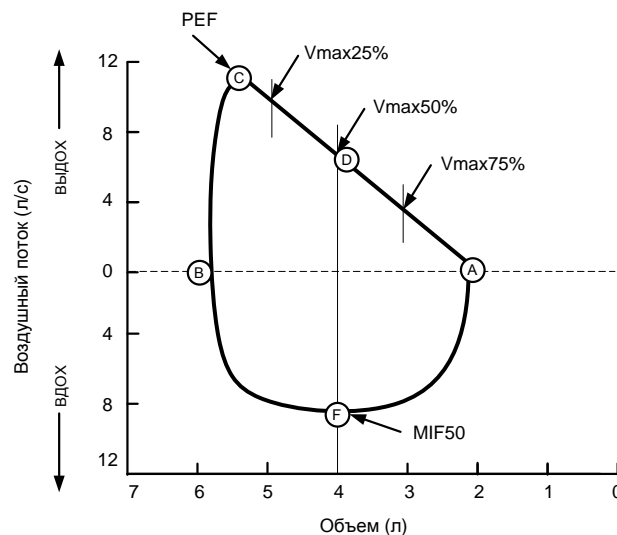


Рис. 1.5. Графік «потік-об'єм» форсованого видиху

### 1.5 Метод спірометричного обстеження

Для забезпечення методичної правильності дослідження (запобігання фальстарту, коли частина видиху йде в атмосферу) сучасна методика пневмотахометрії припускає виконання декількох спокійних дихальних рухів через датчик спірометра, і лише потім - глибокого вдиху й форсованого видиху. Початок видиху в такому випадку визначається по спеціальному стандартизованому алгоритму зворотної екстраполяції. При правильній роботі спірометра всі обчислення виконуються автоматично із забезпеченням необхідної точності отриманих результатів.

У деяких випадках, насамперед при підозрі на обструкцію внуторакальних дихальних шляхів, крім дослідження форсованого видиху, проводиться оцінка форсованого вдиху. Таке дослідження може бути

здійснено лише спеціально призначеними для цього спірометрами.

Клінічна оцінка вентиляційної функції легенів ґрунтується на зіставленні результатів правильно виконаного пацієнтом дихального маневру з належними величинами. Належні величини характеризують нормальні для даної популяції параметри вентиляції легенів. Нормативні значення залежать від статі, віку, зросту пацієнта і його приналежності до певної раси. Ступінь порушень ФЗД залежить від відхилень вимірів показників від належних.

У таблиці 1.1 наведері рівені відхилення показників по Л.Л.Шику й М.М.Канаєву, а саме значення показників у відсотках до належних величин .

Таблиця 1.1 – Границі норми й градації відхилення показників зовнішнього дихання по Л.Л. Шику, М.М. Канаєву, 1980

Показник	Норма	Умовна норма	Помірні відхилення	Значні відхилення	Різкі відхилення
ЖЄЛ	більше 90	85-90	70-84	50-69	менш 50
ОФВ <sub>1</sub>	більше 85	75-85	55-74	35-54	менш 35

На основі досліджень розроблені кілька систем належних величин. Найбільш відомими в нашій країні є системи нормативів Р. Ф. Клемента й співавт. (Санкт-Петербург) [6], Knudson, Європейського суспільства вугілля й сталі (ECCS). При роботі зі спірометрами закордонного виробництва необхідно уточнити, яка система належних величин в них використовується.

Кожна система належних величин характеризується діапазоном віку пацієнтів, що обстежуються. Нормативи Р.Ф.Клемента й ECCS можуть використовуватися для осіб від 18 до 70 років. Належні величини по Knudson можуть застосовуватися, якщо вік обстежуваного від 6 до 120 років. В нашій країні для дітей також широко використовується система належних величин І.С.Ширяєвої [11,20,21], а також Р.Ф.Клемента [7] для дітей від броків.

Іноді в належних величинах враховують ще й масу тіла пацієнта. Однак виявляється, що вплив останньої на належні величини мінімально й перебуває в межах кореляції маси тіла зі зростом.

Для кожного пацієнта належні величини або розраховуються приладом автоматично, на підставі введених до дослідження даних про пацієнта; або визначаються за спеціальними таблицями. В останньому випадку оцінка результатів досліджень ФЗД пов'язана зі значним об'ємом обчислень.

## **1.6 Показання та протипоказання до проведення спірометрії**

Показання до дослідження вентиляційної функції легенів

Дослідження вентиляційної функції легенів широко використовується в клінічній практиці. Основні показання до призначення дослідження перераховані нижче.

- Захворювання трахеї, бронхів, легенів, органів середостіння.
- Захворювання серцево-судинної системи з ознаками недостатності кровообігу.
- Перед призначенням  $\beta$ -адреноблокаторів і при підборі їх дози.
- Нервово-м'язові захворювання.
- Аномалії розвитку й травми грудної клітини.
- Контроль ефективності лікування.
- Оцінка передопераційного ризику, вибір параметрів ІВЛ під час інгаляційного наркозу й інших видів анестезіологічного й реанімаційного посібника.
- Експертиза працездатності й стану здоров'я, у т.ч. в спортивній, професійній і військовій медицині.
- Епідеміологічні й популяційне дослідження. У результаті дослідження вентиляційної функції легенів повинне бути сформоване висновок про наявність, ступінь виразності й динаміку (при наявності інформації про раніше проведені виміри) обструктивного й рестриктивного компонентів порушень ФЗД.

Результати оцінки ФЗД повинні аналізуватися разом з даними анамнезу, скарг й об'єктивного дослідження хворого, лабораторно-інструментальної діагностики. У випадку розбіжності спірометричних й інших клінічних даних показане поглиблене дослідження хворого з обов'язковим дослідженням газообміну й еластичних властивостей легенів.

Протипоказання до дослідження вентиляційної функції легенів

- Важкий загальносоматичний стан пацієнта.
- Перенесений менш ніж 3 місячі назад інфаркт міокарда, інсульт.
- Кровохаркання або рясне відходження мокротиння.
- Неадекватність поведження хворого.
- Відмова від співробітництва з медичним персоналом.
- Епілепсія або підозра на неї.

## **1.7 Методика дослідження легеневої вентиляції**

Дослідження вентиляції легенів може проводитися різними методами, однак завжди необхідно строго виконувати як загальні, так і частні вимоги методики досліджень.

Якісне дослідження ФЗД вимагає певних зусиль від пацієнта й ретельного дотримання методики медперсоналом. Це дозволяє домогтися високої відтворюваності й повторюваності результатів вимірів, є визначальним чинником точної оцінки порушень вентиляційної функції легенів, її динаміки в процесі лікування.

При однократному вимірі ймовірно одержання результату, що може з різних причин досить сильно відрізнятись від справжнього значення. Для виключення помилкових висновків вимір кожного параметра варто проводити не менш трьох разів, оцінка результату тесту може здійснюватися або шляхом усереднення повторних вимірів, або вибору «найкращого» показника. Ступінь розкиду обмірюваних показників у дослідженні ФЗД прийнято характеризувати відтворюваністю й повторюваністю [6,10,12].

**Відтворюваність** – розкид значень показників при повторних вимірах, виконаних протягом *короткого* проміжку часу, порівнянного із тривалістю дослідження. Відтворюваність найчастіше оцінюється у відсотках від максимального результату в серії проб.

**Повторюваність** – розкид значень показників при повторних вимірах, виконаних через *тривалі* проміжки часу, як правило, не менш доби.

Підготовка пацієнта повинна починатися з моменту призначення дослідження лікарем або консультантом. У зв'язку із цим лікарі повинні бути в достатній мірі інформовані про методи дослідження ФЗД і підготовці хворих до дослідження. Для підвищення ефективності інструктажу можуть використовуватися різні пам'ятки, що видаються пацієнтам на руки.

Перед проведенням будь-яких досліджень ФЗД пацієнт повинен:

- не курити й не вживати алкоголь, бажано протягом не менш 24 год до дослідження;
- не робити енергійних фізичних зусиль, включаючи заняття лікувальною фізкультурою й підйом по сходах, протягом, як мінімум, 2 год до тесту;
- прийти на дослідження в легкому одязі, що не стискає грудної клітини; відмовитися від рясної їжі за 2 год до виконання проб;
- виключити застосування інгаляційних бронходилататорів короткої дії, у випадку їх застосування - повідомити медичний персонал про використанні препарати, дозу, і час їх використання.

Якщо пацієнт приймає препарати, здатні впливати на прохідність дихальних шляхів, то їх також необхідно завчасно скасувати. При неможливості скасування препарату дослідження проводиться на тлі його прийому, однак при оцінці результатів дослідження ФЗД необхідно врахувати вплив препарату й відбити це у висновку.

### **1.8 Загальні правила проведення спірометрії й пневмотахографії**

Основні методичні рекомендації при дослідженні ФЗД перераховані нижче. Крім цього, необхідно суворо дотримувати рекомендацій, викладених в посібнику з експлуатації спірометричного устаткування, що застосовується.

Дослідження ФЗД звичайно проводиться в положенні хворого

сидячи. Бажано, щоб стілець або крісло мали підлокітники, що запобігають падінню пацієнта при розвитку вираженого гіпервентиляційного синдрому. Під час виконання дихальних маневрів пацієнт повинен сидіти прямо, не опираючись на спинку крісла. Нахил тулуба вперед може привести до компресії трахеї. Молодим пацієнтам можна проводити проби стоячи. Тести, здатні викликати гіпервентиляційний синдром (ФЖЄЛ, МВЛ), необхідно проводити тільки в положенні сидячи.

Дослідження легеневої вентиляції необхідно проводити в спокійній, комфортній обстановці. Пацієнт повинен відпочити протягом не менш 10хв до проведення вимірів, для цього перед кабінетом необхідно мати досить крісел або стільців.

Завжди необхідно використовувати носовий затиск. Затиск повинен бути індивідуальним або накладатися через індивідуальну серветку.

Перед початком дослідження необхідно зафіксувати:

- реєстраційні дані пацієнта, його вік, стать, зріст;
- температуру та атмосферний тиск.

### 1.9 Загальні правила проведення спірометрії й пневмотахографії

Необхідно використати одноразові картонні або пластикові мундштуки, що стерилізуються, індивідуального застосування. Пацієнт повинен щільно охопити мундштук губами так, щоб зуби і язик не перешкоджали вільному руху повітря (рис. 4.1).

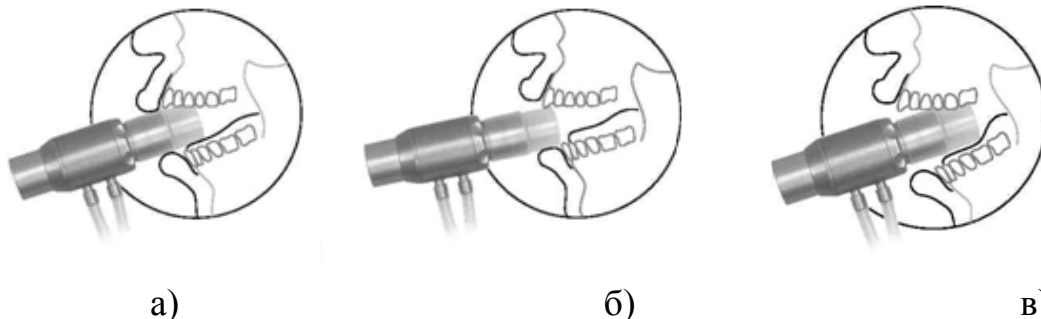


Рис. 4.1. Правильне й неправильне положення мундштука в роті під час виконання дихальних маневрів:

- а - правильне положення мундштука: він щільно охоплений губами, язик і зуби не перешкоджають руху повітря;
- б - мундштук недостатньо глибоко уведений у ротову порожнину, зуби і язик частково перекривають його просвіт;
- в - мундштук введений занадто глибоко, надавлює на корінь язика, ймовірний розвиток кашлю або блювоти.

Між окремими пробами необхідно робити достатні перерви, як правило, не менш 1-2 хв. Для мінімізації взаємного впливу проб, дослідження рекомендується проводити в наступній послідовності: ЖЄЛ, ФЖЄЛ, МВЛ.

Необхідно забезпечити герметичність приєднання мундштука (загубника) до приймача повітряного потоку спірометра. У спірометрів з

відкритим контуром нічого (сторонні предмети, меблі, руки пацієнта й т.п.) не повинно перешкоджати проходженню повітря через датчик у процесі проби.

## 2 ВИВЧЕННЯ ПРИНЦИПУ ДІЇ ПРИЛАДУ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ДИХАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ЛЮДИНИ

**Мета лабораторної роботи:** вивчення пристрою й принципу дії сухого спірометра портативного (ССП), призначеного для виміру параметрів дихальної системи людини, і придбання практичних навичок роботи з ними.

### 2.1 Підготовка до лабораторної роботи

По паспорті вивчити призначення, технічні характеристики, пристрій і принцип дії спірометра ССП.

Ознайомитися з порядком підготовки спірометра ССП до роботи й виміром з його допомогою параметрів дихальної системи людини.

### 2.2 Вимір параметрів подиху

Оцінити погрішність виміру періодів вхідних імпульсів. Для цього на вхід системи подати прямокутні імпульси частотою 50 Гц, амплітудою 5У, зробити запис періодів протягом 1-2 секунд, і потім генератор відключити.

Зробити по три виміру нормального й форсованого видихів. При цьому фіксувати власні показання спірометра й кількість імпульсів отриманих системою виміру. Результати занести в таблицю 2.1.

Таблиця 2.1 – Результати вимірів

Студент	Нормальний						Форсований					
	1		2		3		1		2		3	
	V	N	V	N	V	N	V	N	V	N	V	N

Виконати пункти 2.1 й 2.2 для кожного випробуваного студента.

### 2.3 Аналіз експериментальних даних

Визначити погрішність виміру періодів імпульсів з генератора

$$\delta = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^N (K_i - K_{CP})^2}}{N \cdot K_{CP}} \cdot 100\% ,$$

де  $K_i$  –  $i$ -і число, отримане в результаті виміру одного періоду;  
 $N$  – кількість обмірюваних періодів;  
 $K_{CP}$  – середнеарифметическое значення отриманих періодів.  
Розрахувати період тактових імпульсів (ТТИ) системи виміру по вираженню

$$T_{ТИ} = \frac{2}{f_{Г} \cdot K_{CP}},$$

де  $f_{Г}$  – частота імпульсів з генератора.

За результатами отриманим у таблиці визначаємо значення мінімального обсягу повітря, що проходить через ДТТ, за один період вихідних імпульсів

$$V_{Ti} = V_i / N_i.$$

Отримані значення усереднюються й використовуються для побудови залежностей зміни витрати й обсягу повітря від часу.

**2.4** За результатами експериментальних даних, отриманих у результаті досліджень нормальних і форсованих видихів, побудувати залежності зміни витрати  $Q(t)$  і обсягу  $V(t)$  повітря. При цьому періоди імпульсів можуть бути визначені по вираженню

$$T_i = K_i \cdot T_{ТИ}.$$

**2.5** З отриманих графіків, для кожного із трьох вимірів, розрахувати параметри дихальної системи: ЖЕЛ, ФЖЕЛ, ОФВ1, ОФВ1/ЖЕЛ, ОФВ1/ФЖЕЛ і параметри задані викладачем. Остаточні значення перерахованих параметрів одержати як середнє з розрахованих.

**2.6** У звіт про виконану лабораторну роботу повинні бути включені:

- мета лабораторної роботи;
- відомості про дихальну систему людини й основних її параметрів;
- технічні дані, опис пристрою, принципу дії й порядку роботи спірометра ССП;
- схема й методика перевірки спірометра ССП;
- результати вимірів у вигляді таблиць і графіків;
- аналіз отриманих результатів і висновки;
- список використаної літератури.