

ФУНКЦІОНАЛЬНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ В ДИТЯЧІЙ ПУЛЬМОНОЛОГІЇ

*Методичні вказівки
для здобувачів вищої освіти 5-6-х курсів
за спеціальностями «Медицина» та «Педіатрія»,
лікарів-інтернів, лікарів-педіатрів,
лікарів загальної практики – сімейної медицини*

МІНІСТЕРСТВО ОХОРОНИ ЗДОРОВ'Я УКРАЇНИ
Харківський національний медичний університет

ФУНКЦІОНАЛЬНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ В ДИТЯЧІЙ ПУЛЬМОНОЛОГІЇ

Методичні вказівки
для здобувачів вищої освіти 5-6-х курсів
за спеціальностями «Медицина» та «Педіатрія»,
лікарів-інтернів, лікарів-педіатрів,
лікарів загальної практики – сімейної медицини

Затверджено
Вченою радою ХНМУ.
Протокол № 9 від 28.08.2024.

Харків
ХНМУ
2024

Функціональні методи дослідження в дитячій пульмонології : метод. вказ. для здобувачів вищої освіти 5–6-х курсів за спеціальностями «Медицина» та «Педіатрія» лікарів-інтернів, лікарів-педіатрів, лікарів загальної практики – сімейної медицини / упоряд. М. О. Гончарь та ін. Харків : ХНМУ, 2024. 32 с.

Упорядники М. О. Гончарь
 В. В. Поляков
 Т. Б. Іщенко
 О. Л. Онікієнко
 Н. Р. Бужинська

ЗМІСТ

1. Список умовних скорочень	4
2. Анатомо-фізіологічні особливості органів дихання у дітей	5
3. Фізіологія дихання	7
3.1. Вентиляція легень	7
3.2. Обмін газів у легенях	9
3.3. Гази артеріальної крові	10
3.4. Регуляція дихання	12
4. Методи вивчення показників вентиляції легень	13
4.1. Спірометрія	13
4.2. Пікфлоуметрія	21
4.3. Бронходилатаційний тест	23
4.4. Бронхоконстрикторні (провокаційні) проби	24
4.5. Імпульсна осцилометрія	25
4.6. Бодіплетизмографія	26
5. Ситуаційні задачі	27
6. Тестові завдання	29
7. Література	31

1. СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

БО	– бронхіальний опір
БПГ	– бодіпетизмографія
ВГО	– внутрішньогрудний газовий об'єм
ДО	– дихальний об'єм
ЖЄЛ	– життєва ємність легень
ЖЄЛ _{вд}	– життєва ємність легень після максимального вдиху
ЖЄЛ _{вид}	– життєва ємність легень після максимального видиху
ЗЄЛ	– загальна ємність легень
ЗОЛ	– залишковий об'єм легень
МВЛ	– максимальна вентиляція легень
МОШ	– миттєві об'ємні швидкості
МОШ ₂₅	– максимальна об'ємна швидкість повітря на рівні видиху 25 % ФЖЄЛ
МОШ ₅₀	– максимальна об'ємна швидкість повітря на рівні видиху 50 % ФЖЄЛ
МОШ ₇₅	– максимальна об'ємна швидкість повітря на рівні видиху 75 % ФЖЄЛ
ОФВ ₁	– об'єм форсованого видиху за першу секунду
ПШВ	– пікова (максимальна) швидкість видиху
P _a O ₂	– напруга кисню в артеріальній крові
P _a CO ₂	– напруга вуглекислого газу в артеріальній крові
PВ ₂	– парціальний тиск кисню в газовій суміші
РОВид	– резервний об'єм видиху
PCO ₂	– парціальний тиск вуглекислого газу в крові
СО	– оксид вуглецю
СОНб	– карбоксигемоглобін
СОШ	– середня об'ємна швидкість видиху
ФЖЄЛ	– форсована життєва ємність легень
ФЗЄЛ	– функціональна залишкова ємність легень
ХОД	– хвилинний об'єм дихання
ЧД	– частота дихання
(V _a /Q)	– вентиляційно-перфузійне відношення
DL _{co}	– дифузна здатність легень
ІОМ	– імпульсна осцилометрія
metHb	– метгемоглобін
S _a O ₂	– напруга кисню в крові

2. АНАТОМО-ФІЗІОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ОРГАНІВ ДИХАННЯ У ДІТЕЙ

Народження дитини потребує негайного функціонування легень, у цей період з початком дихання відбуваються значні зміни повітроносних шляхів, особливо дихального відділу легень. Формування дихальної поверхні в окремих відділах легень відбувається нерівномірно. Для розправлення дихального апарату легень величезне значення мають стан і готовність сурфактантної плівки, яка устилає легеневу поверхню. Порушення поверхневого натягу сурфактантної системи призводить до серйозних захворювань у дитини раннього віку.

У перші місяці життя у дитини зберігається співвідношення довжини і ширини повітроносних шляхів, як у плода, коли трахея і бронхи коротші та ширші, ніж у дорослих, а дрібні бронхи вужчі.

Плевра, що покриває легені, у новонародженій дитини товстіша, пухка, містить ворсинки та вирости, особливо в міжчасткових борозенках. До народження легені дитини підготовлені до виконання функції дихання, але окремі компоненти перебувають у стадії розвитку, швидко йде формування та дозрівання альвеол, відбуваються перебудова судинного руслу.

Після тримісячного віку розрізняють два періоди:

I – період інтенсивного зростання легеневих часток (від 3 міс до 3 років);

II – остаточне диференціювання всієї бронхолегеневої системи (від 3 до 7 років).

Інтенсивне зростання трахеї та бронхів відбувається на 1–2-му роках життя, в наступні роки уповільнюється, а дрібні бронхи ростуть інтенсивно, кути розгалуження бронхів також збільшуються. Діаметр альвеол зростає, дихальна поверхня легень із віком збільшується вдвічі. У дітей до 8 міс діаметр альвеол дорівнює 0,06 мм, у 2 роки – 0,12 мм, у 6 років – 0,2 мм, у 12 років – 0,25 мм.

У перші роки життя відбуваються зростання та диференціювання елементів легеневої тканини, судин. Вирівнюється співвідношення обсягів часток у окремих сегментів. У 6–7 років легені вже є сформованим органом і не відрізняються від таких у дорослих людей.

Особливості дихальних шляхів дитини. Розрізняють верхні дихальні шляхи, до яких відносяться ніс, додаткові пазухи носа, глотка та евстахієві труби, і нижні, до яких відносяться трахея та бронхи.

Основна функція дихання полягає у проведенні повітря в легені, очищенні його від пилових частинок, захисті легень від шкідливих впливів бактерій, вірусів, сторонніх частинок. Крім того, дихальні шляхи зігрівають і зволожують повітря, що вдихається.

Легені представлені дрібними мішечками, які містять повітря. Вони з'єднуються між собою. Основна функція легень полягає в поглинанні

з атмосферного повітря кисню та виділення в атмосферу газів, насамперед оксиду вуглецю.

Особливості бронхіального дерева дитини. Бронхи в дітей до народження вже сформовані. Слизова оболонка містить багато кровоносних судин, покрита шаром слизу, який рухається зі швидкістю 0,25–1 см/хв. Особливістю бронхів у дітей є те, що еластичні та м'язові волокна розвинені слабо. Бронхіальне дерево розгалужується до бронхів 21-го порядку. З віком кількість гілок та їх розподіл залишаються постійними. Розміри бронхів інтенсивно змінюються на першому році життя та в періоді статевого дозрівання. У ранньому дитячому віці їх основу складають хрящові півкільця. Бронхіальні хрящі дуже еластичні, податливі, м'які та легко зміщуються. Правий бронх ширший за лівий і є подовженням трахеї, тому в ньому частіше виявляються чужорідні тіла.

Після народження дитини в бронхах формується циліндричний епітелій. При гіперемії бронхів та їх набряку різко знижується їх просвіт (аж до повного його закриття).

Недостатній розвиток дихальної мускулатури сприяє слабкому кашльовому поштовху у маленької дитини, що може призвести до закупорки слизом дрібних бронхів, а це, у свою чергу, призводить до інфікування легеневої тканини, порушення очисної (дренажної) функції бронхів.

З віком відбувається зростання бронхів, з'являються більш широкі просвіти, продукується менш в'язкий секрет бронхіальними залозами, що сприяє зниженню захворюваності на гострі захворювання бронхолегеневої системи порівняно з дітьми раннього віку.

Особливості легень у дітей. У дітей, як і у дорослих, легені діляться на частки, а частки – на сегменти. Легені мають сегментарну будову, сегменти в легенях відокремлені один від одного вузькими борознами і перегородками зі сполучної тканини. Основною структурною одиницею є альвеоли. Їхня кількість у новонародженій дитини в 3 рази менше, ніж у дорослої людини. Альвеоли починають розвиватися з 4–6-тижневого віку, їх формування відбувається до 8 років. Після 8 років легені у дітей збільшуються за рахунок лінійного розміру, паралельно збільшується дихальна поверхня легень.

Особливістю легень у дітей є незрілість альвеол, вони мають невеликий об'єм. Це компенсується частішим диханням: чим молодша дитина, тим більше поверхневе дихання. Частота дихання у новонародженого дорівнює 60, у підлітка – вже 16–18 дихальних рухів за хвилину. Завершується розвиток легень у 20 років.

3. ФІЗІОЛОГІЯ ДИХАННЯ

Дихання – складний біологічний процес, що забезпечує споживання кисню із зовнішнього середовища, доставку його до органів і тканин, біологічне окислення, видалення продуктів тканинного окислення у зовнішнє середовище.

Під зовнішнім диханням розуміють процеси, що забезпечують обмін газів між довкіллям і кров'ю. Зовнішнє дихання складається з процесів вентиляції, дифузії газів та перфузії крові через легені.

Функцію зовнішнього дихання та оновлення газового складу крові у людини виконують верхні та нижні дихальні шляхи, легені. Для здійснення процесів газообміну у будові легень є ряд пристосувальних особливостей:

- наявність аерогематичного бар'єра, що полегшує дифузію газів;
- велика дихальна площа поверхні легень ($50\text{--}90\text{ м}^2$), яка у кілька десятків разів перевищує поверхню тіла;
- наявність малого кола кровообігу;
- еластична тяга легень;
- опорна хрящова тканина у вигляді хрящових бронхів для попередження спадання дихальних шляхів та швидкого проходження повітря.

3.1. Вентиляція легень

Вентиляція – процес надходження повітря до альвеол. Її параметри залежать від активності дихального центру, стану дихальної мускулатури, проходності бронхів і величин дихальних об'ємів.

Просування повітря здійснюється по дихальних шляхах. До верхніх дихальних органів відносяться носова та ротова порожнини, гортань, верхня частина трахеї. Нижні дихальні шляхи представлені трахеєю та бронхіальним деревом. Від біфуркації трахеї починається бронхіальне дерево, що утворюється за рахунок переважно дихотомічного поділу бронхів. У середньому налічується 23 рівні розгалуження бронхів. У бронхах розрізняють наступні зони:

- 1) кондуктивну (0–16-й рівні бронхів), де відбувається вентиляція;
- 2) транзиторну, або перехідну (17–19-й рівні);
- 3) респіраторну (20–23-й рівні), представлену респіраторними бронхіолами, альвеолярними ходами та мішечками (*рис. 1*).

Поступове звуження просвітів бронхів і бронхіол у міру їх поділу не призводить до різкого зростання опору, тому що сумарна площа їх просвітів при цьому збільшується. Так, якщо площа поперечного перерізу трахеї становить $2\text{--}4,5\text{ см}^2$, то сумарна площа просвітів розгалужень 23-го порядку – близько $12\ 000\text{ см}^2$.

Вентиляція альвеол, необхідна для газообміну, здійснюється завдяки вдиху (інспірації) та видиху (експірації). При вдиху до альвеол надходить

повітря, насичене O_2 . При видиху з них видаляється повітря з меншою концентрацією O_2 , але більшим вмістом CO_2 . Фаза вдиху і наступна фаза видиху складають дихальний цикл.

Рух повітря обумовлений поперемінним збільшенням і зменшенням об'єму грудної клітки.



Рис. 1. Схематична структура бронхіального дерева

Механізм вдиху (інспірації). Інспірація – активний процес навіть при диханні в спокої, який забезпечується переважно за рахунок сплюснення купола діафрагми, а також скорочення міжреберних м'язів. При цьому відбувається збільшення грудної порожнини у вертикальній, сагітальній та фронтальній площинах.

Механізм видиху (експірації) забезпечується за рахунок:

- пасивного зменшення об'єму грудної клітки;
- еластичності реберних хрящів;
- еластичності легень;
- тиску органів черевної порожнини на діафрагму.

В стані спокою видих відбувається пасивно, тобто без скорочення м'язів.

Типи дихання. Залежно від того, за рахунок якого компонента (підняття ребер або сплюснення діафрагми) відбувається збільшення об'єму грудної клітки, виділяють три типи дихання:

- грудний (реберний);
- черевний;
- змішаний.

Найбільш ефективний черевний тип дихання, тому що при ньому збільшується вентиляція легень і полегшується повернення венозної крові до серця.

3.2. Обмін газів у легенях

Процес дифузії газів у легенях починається з рівня термінальних бронхіол і завершується дифузією газів через альвеолокапілярну мембрану. Рух газів у цій зоні йде за звичайними фізичними законами у напрямку зменшення концентрації за допомогою теплового руху молекул. За добу з альвеолярного повітря в кров переходить приблизно 500 літрів O_2 , а у зворотному напрямку – 450 літрів CO_2 .

На дифузію газів у легенях впливають такі фактори:

- парціальний тиск газів;
- вентиляційно-перфузійні відносини;
- аерогематичний бар'єр;
- дифузійна здатність легень;
- загальна площа поверхні альвеол.

Дифузія газів відбувається внаслідок різниці парціального тиску газів в альвеолярному повітрі та їх напруги в крові (табл. 1.).

Таблиця 1

Газовий склад повітря (%)

Повітря	O_2	CO_2	N_2
Вдихається	20,93	0,02–0,03	79,04
Видихається	16,0	4,5	79,5
Альвеолярне	14,0	5,5	80,5

Постійність газового складу альвеолярного повітря є необхідною умовою нормальних процесів газообміну. У підтримці його сталості істотну роль відіграє мертвий простір, який виконує роль буфера, що згладжує коливання складу альвеолярного повітря в ході дихального циклу.

Мертвий простір буває анатомічним і функціональним. Анатомічний мертвий простір – об'єм повітроносних шляхів, у яких не відбувається газообмін (носова порожнина, глотка, гортань, трахея, бронхи, бронхіоли, альвеолярні ходи). Об'єм анатомічного простору в середньому у дорослого складає 150 мл. Отже, з 500 мл дихального об'єму в альвеоли надійде лише 350 мл. При цьому після спокійного видиху в легенях залишається повітря, яке включає резервний об'єм видиху (РОВид) та залишковий об'єм (ЗО). Цей показник називається функціональна залишкова ємність легень (ФЗЄЛ) і може складати 2 500 мл. Таким чином, у результаті одного дихального циклу оновлюється тільки 1/7 частина повітря.

Функціональний мертвий простір – ділянки дихальної системи, в яких не відбувається газообмін, тобто до анатомічного мертвого простору додаються альвеоли, які вентилюються, але не перфузуються кров'ю, або перфузуються, але не вентилюються. У судинах великого кола кровообігу гладенька мускулатура більшості судин при нестачі O_2 розслабляється,

а у судинах малого кола, навпаки, скорочується, що викликає звуження судин у ділянках легень, що погано вентилюються, і зменшення в них кровотоку (рефлекс Ейлера–Лілієстранда), тобто створює оптимальні вентиляційно-перфузійні відносини. У нормі таких ділянок мало, тому об'єм анатомічного та функціонального простору збігається. Збільшення об'єму мертвого простору при незмінному хвилинному об'ємі дихання (ХОД) веде до зниження альвеолярної вентиляції. Так, альвеолярна вентиляція (V_a/Q) для окремих альвеол може змінюватися від нуля (вентиляція відсутня, капіляри даної альвеоли функціонують як шунти) до нескінченності (перфузія відсутня, альвеола є частиною мертвого простору). В ідеалі V_a/Q для всіх альвеол має становити 1 (якщо обидва показники виражені в л/хв), але навіть у здорової людини є деяка нерівномірність V_a/Q , оскільки в нормі в легенях і кровотік, і вентиляція наростають від верхівок до основ. У результаті цього у верхівках порівняно з основами більше V_a/Q , і в крові, що відтікає від них, вищий парціальний тиск O_2 (P_aO_2), і нижчий парціальний тиск CO_2 (P_aCO_2). Газовий склад крові, що відтікає від легень, у цілому формується в результаті змішування крові, що надходить від різних ділянок легень.

Потреба людини в кисні в спокої в середньому становить 350 мл/хв (при фізичному навантаженні – до 5 000 мл).

Аерогематичний бар'єр включає наступне:

- шар сурфактанта (кисень краще розчиняється у фосфоліпідах, що входять до складу сурфактанта, ніж у воді);
- альвеолярний епітелій;
- дві базальні мембрани;
- ендотелій капілярів.

Дифузійна здатність легень визначається кількістю газу, що проникає через легенеvu мембрану за хвилину при градієнті тиску 1 мм рт. ст.

3.3. Гази артеріальної крові

Кисень та вуглекислий газ переносяться кров'ю у вільній формі (розчиненій у плазмі крові) та у зв'язаній. У вигляді фізичного розчину їх кількість порівняно невелика (O_2 – 0,3 %, CO_2 – 5,0 %). Для того, щоб зв'язатися з тими чи іншими речовинами, гази спочатку мають розчинитися в плазмі крові, тобто кожна молекула O_2 та CO_2 певний час перебуває у розчиненому стані, перш ніж досягне еритроцитів.

Кров переносить O_2 переважно у вигляді оксигемоглобіну, оскільки гемоглобін може зв'язувати цей газ у великій кількості. Так, 1 г гемоглобіну здатний зв'язати 1,34–1,36 мл газу. Об'ємна концентрація O_2 у крові залежить від концентрації в ній гемоглобіну та від PO_2 . Знаючи PV_2 , за допомогою кривої дисоціації оксигемоглобіну можна визначити насичення гемоглобіну киснем (рис. 2).

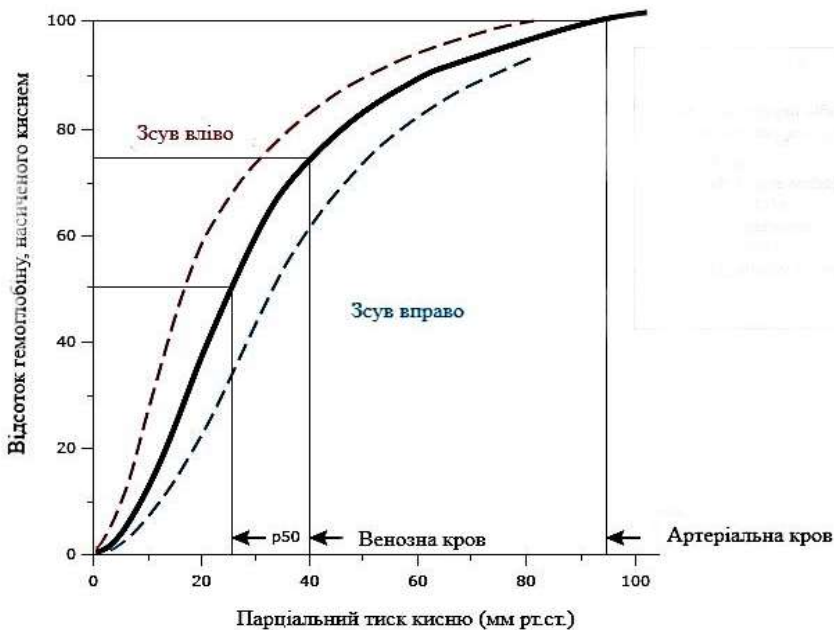


Рис. 2. Крива дисоціації оксигемоглобіну

(ілюстрацію взято з інтернет-порталу <https://www.uptodate.com/> та перекладено українською мовою колективом авторів, опис до малюнку в тексті)

Спорідненість гемоглобіну до кисню є великою при високій сатурації (більше 90 %, при PO_2 понад 60 мм рт. ст.) та меншою при низькій. Цей ефект полегшує насичення гемоглобіну киснем у легенях (де PO_2 висока) і вивільнення його в тканинах (де PO_2 низька). Положення кривої дисоціації оксигемоглобіну не є фіксованим. Фактори, що зміщують криву дисоціації вліво (підвищення рН крові, збільшення концентрації CO_2 в крові, зниження температури) збільшують спорідненість кисню до гемоглобіну; фактори, які зрушують криву вправо (зниження рН крові, зниження концентрації CO_2 у крові, підвищення температури), зменшують спорідненість гемоглобіну до кисню.

На насичення гемоглобіну киснем також впливає наявність таких сполук, як $COHb$ і $metHb$. Маючи велику спорідненість до гемоглобіну, CO зв'язується з гемоглобіном і знижує його здатність переносити кисень. Таким чином, насичення гемоглобіну киснем не може бути вищим за 70 %, якщо рівень $COHb$ дорівнює 30 %. $MetHb$ утворюється, якщо залізо в молекулі гемоглобіну перетворюється з двовалентного на тривалентне. Гемоглобін здатний до транспортування кисню, лише перебуваючи у двовалентному стані. Таким чином, $metHb$ знижує здатність гемоглобіну переносити кисень.

Вуглекислий газ утворюється в тканинах, через кров надходить у легені, звідки видихається в атмосферу. Кількість CO_2 , яку може транспортувати кров, значно більша за кількість кисню. Вуглекислий газ може перебувати в крові у вигляді іонів бікарбонату, карбогемоглобіну і просто в розчиненому вигляді. У змішаній венозній крові 60 % CO_2 знаходиться у вигляді бікарбонату. Вуглекислий газ, що утворюється в тканинах, переходить у кров та в еритроцитах зв'язується з водою, утворюючи вугільну кислоту (H_2CO_3), яка дисоціює на іони бікарбонату (HCO_3^-):



Ліва частина реакції повільно протікає у плазмі, її різко прискорює фермент карбоангідраза, що є присутнім в еритроцитах. Дисоціація вугільної кислоти на бікарбонат та іони водню відбувається швидко та без участі будь-яких ферментів. У міру накопичення HCO_3^- всередині еритроциту аніон дифундує через клітинну мембрану у плазму. Мембрана еритроцитів непроника для іонів H^+ . Для підтримки електричної нейтральності еритроцити проникають іони Cl^- , які заміщають бікарбонат-іони.

3.4. Регуляція дихання

Відповідно до метаболічних потреб дихальна система забезпечує газообмін O_2 та CO_2 між навколишнім середовищем та організмом. Цю життєво важливу функцію регулює мережа взаємозалежних нейронів ЦНС, які розташовані в кількох відділах мозку і об'єднуються у комплексне поняття «дихальний центр». При впливі на його структури нервових і гуморальних стимулів відбувається адаптація функції дихання до умов навколишнього середовища.

Діяльність дихального центру залежить від складу крові, що надходить у мозок по загальних сонних артеріях. Головним фізіологічним стимулом дихальних центрів є двоокис вуглецю. Регуляція дихання обумовлює підтримання нормального вмісту CO_2 в альвеолярному повітрі та артеріальній крові. Зростання вмісту CO_2 в альвеолярному повітрі на 0,17 % викликає подвоєння ХОД, а ось зниження O_2 на 39–40 % не викликає суттєвих змін ХОД.

Двоокис вуглецю, водневі іони та помірна гіпоксія викликають посилення дихання. Ці фактори посилюють діяльність дихального центру, впливаючи на периферичні (артеріальні) і центральні (модулярні) хеморецептори, що регулюють дихання.

Артеріальні хеморецептори знаходяться в каротидних синусах та дузі аорти. Вони розташовані в спеціальних тільцях, що рясно забезпечуються артеріальною кров'ю. Аортальні хеморецептори меншим чином впливають на дихання та більше значення мають для регуляції кровообігу.

Артеріальні хеморецептори є рецепторними утвореннями, які стимулюються внаслідок гіпоксії. Аферентні впливи каротидних тілець поси-

люються також при підвищенні в артеріальній крові напруги двоокису вуглецю та концентрації водневих іонів. Стимулююча дія гіпоксії та гіперкапнії на хеморецептори взаємно посилюється, тоді як в умовах гіпероксії чутливість хеморецепторів до двоокису вуглецю різко знижується. Артеріальні хеморецептори інформують дихальний центр про напругу O_2 та CO_2 у крові, що прямує до мозку.

Центральні хеморецептори розташовані в довгастому мозку латеральніше за піраміди. Ці рецептори чутливі до змін рН спинномозкової рідини, яка їх омиває, і не реагують на зміни P_aO_2 . Перфузія цієї ділянки мозку розчином зі зниженим рН різко посилює дихання, а при високому рН дихання слабшає, аж до апное. Те саме відбувається при охолодженні або обробці поверхні довгастого мозку анестетиками. Центральні хеморецептори мають сильний вплив на діяльність дихального центру й істотно змінюють вентиляцію легень. Встановлено, що зниження рН спинномозкової рідини всього на 0,01 супроводжується збільшенням легеневої вентиляції на 4 л/хв.

Центральні хеморецептори реагують на зміну напруги CO_2 в артеріальній крові пізніше, ніж периферичні хеморецептори, оскільки для дифузії CO_2 з крові в спинномозкову рідину і далі в тканину мозку необхідно більше часу. Гіперкапнія та ацидоз стимулюють, а гіпокапнія та алкалоз гальмують центральні хеморецептори.

Таким чином, замість терміну «дихальний центр» правильніше говорити про систему центральної регуляції дихання, яка включає в себе структури кори головного мозку, певні зони і ядра проміжного, середнього, довгастого мозку, варолієвого мосту, нейрони шийного і грудного відділів спинного мозку центральні та периферичні хеморецептори, а також механорецептори органів дихання.

4. МЕТОДИ ВИВЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ВЕНТИЛЯЦІЇ ЛЕГЕНЬ

4.1. Спірометрія

Найбільш затребуваним і доступним методом для дослідження ФЗД дітей залишається спірометрія – реєстрація кривої потік-об'єм форсованої життєвої ємності легень (ФЖЄЛ). Короткочасність дослідження, візуальний контроль виконання маневру форсованого видиху, комп'ютерна обробка результатів, зокрема порівняльний аналіз різних за часом дослідження показників роблять цей метод незамінним під час проведення різних функціональних тестів.

Даний метод дослідження функції зовнішнього дихання є важливим у клінічній практиці, оскільки дозволяє виявляти ранні ознаки хронічних захворювань бронхолегеневої системи у пацієнтів зі скаргами на тривалі кашель та/або задишку, визначити ступінь тяжкості захворювання, здійснити індивідуальний підбір та оцінку ефективності терапії. Абсолютних протипоказань до спірометрії немає. Обмежує проведення дослідження вік дитини молодше 5–6 років, а також наявність деяких супутніх захворювань (розумова відсталість, важкий ступінь легеневої або серцевої недостатності, кахексія).

Принципово метод спірометрії дозволяє вивчити статичні та динамічні легеневі об'єми та ємності, показники бронхіальної прохідності та легеневої вентиляції. Для оцінки виявлених змін прийнято порівнювати отримані результати з належними значеннями, у зв'язку з чим для правильної інтерпретації результатів спірометрії важливо точно знати вік, зріст та масу пацієнта.

У сучасних комп'ютерних спірометрах вимірювані параметри відображаються на дисплеї в режимі реального часу у вигляді кривих «потік-об'єм» та «об'єм-час» у графічній формі, цифровому вираженні, показники обчислюються у відсотках від належних величин, проводиться попередня оцінка наявних порушень.

Показання до виконання спірометрії:

- рецидивуючий та хронічний кашель;
- задишка при фізичному навантаженні та у спокої;
- алергічний та вазомоторний риніт;
- гострі та хронічні легеневі захворювання;
- кашель та задишка в анамнезі;
- ожиріння;
- контроль пацієнтів, які отримують бронхолітики;
- оцінка тяжкості та ступеня контролю БА;
- вроджена та спадкова патологія бронхів та легень.

Відтворення надійного, тривалого видиху для коректної інтерпретації результатів потребує наставництва клініциста, а також координації та зосередженості з боку пацієнта. Таким чином, якісна спірометрія зазвичай

ненадійна для дітей молодше шести років. Однак існують винятки, і навіть менш якісні вимірювання можуть мати клінічну цінність. Сучасні спірометри часто оснащені програмним забезпеченням із адаптованими до віку анімованими стимулами, які допомагають навчати маленьку дитину дихальним маневрам за допомогою динамічного графічного дисплея. Тому результати спірометричного дослідження залежать від вольових зусиль і ступеня співпраці пацієнта, правильного проведення тестів та кваліфікації медперсоналу.

Відповідно до рекомендацій ATS/ERS-2019 результати спірометричного дослідження будуть діагностично значущими за наступних основних умов:

- повинні виконуватися три технічно прийнятні спроби;
- значення показників ФЗД, виміряних у цих спробах, мають бути відтворені.

Для коректного проведення спірометрії слід дотримуватись певних умов. Напередодні дослідження, якщо це можливо, необхідно відмінити бронхолітичні препарати.

Перед початком дослідження рекомендується наступне:

- 1) перевірити калібрування спірометра;
- 2) виміряти зріст та масу тіла пацієнта;
- 3) внести дані про пацієнта до спірометра;
- 4) правильно посадити пацієнта: він повинен сидіти з прямою спиною і трохи піднятою головою (рис. 3);
- 5) проінструктувати пацієнта про порядок виконання дихальних маневрів, а також про те, як користуватись мундштуком.



Рис. 3. Положення пацієнта під час проведення тесту

Характеристика показників спірометрії

За допомогою спірометрії вивчають статичні, динамічні, похідні легеневі об'єми та швидкісні показники дихання.

Статичні об'єми та ємності (рис. 4):

– ЗЄЛ (TLC), *загальна ємність легень* – об'єм всього повітря в легенях на висоті максимального вдишу;

– ЖЄЛ (VC), *життєва ємність легень* – найбільший об'єм повітря, який можна видихнути після максимального вдишу (ЖЄЛ_{вд}) або вдихнути після максимального видиху (ЖЄЛ_{вид}); ЖЄЛ_{вд} дещо більша (а при обструктивних захворюваннях легень може бути істотно більшою), ніж ЖЄЛ_{вид}, оскільки на вдишу немає блокування повітря в дрібних бронхах;

– ЗО (RV), *залишковий об'єм* – об'єм повітря, що залишається в легенях після максимального видиху;

– ДО (VT), *дихальний об'єм* – об'єм повітря, що вдихається або видихається при спокійному диханні;

– РО_{вд}, РО_{вид} (IRV, ERV), *резервні об'єми вдишу та видиху* – об'єм повітря, який можна додатково вдихнути чи видихнути після спокійного вдишу чи видиху;

– ХОД, *хвилинний об'єм дихання* – кількість повітря, що проходить через легені за хвилину.

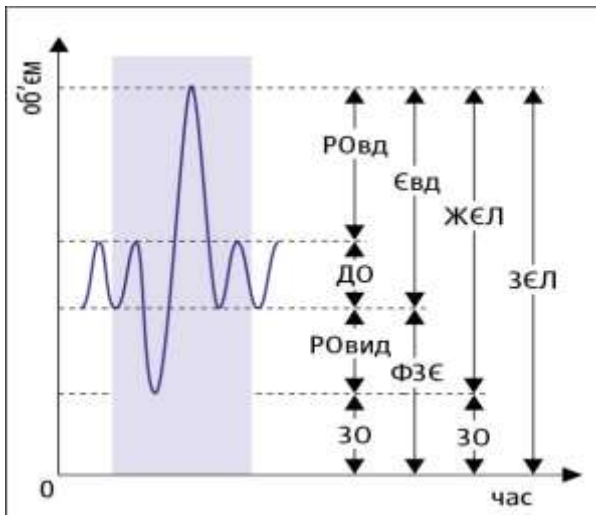


Рис. 4. Статичні об'єми та ємності (описані у тексті, ілюстрацію взято з інтернет-ресурсу <https://empendium.com/>)

Динамічні (швидкісні) об'єми (рис. 5) визначають за допомогою проб з форсованим диханням. Вимірювання проводять не менше трьох разів, береться проба з найбільшими результатами:

– ФЖЄЛ (FVC), експіраторна *форсована життєва ємність легень* – об'єм максимально швидкого та повного видиху із положення максимального вдиху, ФЖЄЛ менший за ЖЄЛ, а при обструктивних захворюваннях ця різниця значно збільшується за рахунок експіраторного колапсу дрібних бронхів;

– ОФВ₁ (FEV₁), *об'єм форсованого видиху за першу секунду* – об'єм повітря, що видихається при форсованому видиху протягом першої секунди; показник порівнюється з належним значенням (норма понад 80 % від належного) та є одним з основних в оцінці ступеня обструкції при бронхіальній астмі та інших обструктивних захворювань легень;

– індекс Тіффно: (ОФВ₁/ЖЄЛ), норма – 80–90 % – показник може збільшуватись при рестриктивних порушеннях зовнішнього дихання (коли зменшується тільки ЖЄЛ при нормальній бронхіальній провідності) і зменшується при бронхіальній обструкції;

– індекс Генслера (ОФВ₁/ФЖЄЛ) норма – 85–90 %; показник має перевагу перед індексом Тіффно в тому, що може бути визначений за один прийом форсованого видиху, що дає більш точні результати, тоді як для проби Тіффно потрібні два дихальні маневри: при спокійному диханні – ЖЄЛ та форсованому видиху – ОФВ₁;

– ПОШвид, *пікова об'ємна швидкість видиху* – максимальна об'ємна швидкість, досягнута під час форсованого видиху; показник широко застосовується для моніторингу обструкції у хворих на бронхіальну астму протягом доби;

– МОШ₂₅, (FEV₂₅), МОШ₅₀ (FEV₅₀), МОШ₇₅ (FEV₇₅), МОШ₈₅ (FEV₈₅) – миттєві об'ємні швидкості видиху відповідно в моменти 25 %, 50 %, 75 % та 85 % від ФЖЄЛ; показники кінцевої частини видиху (50, 75 та 85 %) відображають прохідність дрібних бронхів;

– СОШ₂₅₋₅₀, СОШ₅₀₋₇₅, СОШ₇₅₋₈₅ – середні об'ємні швидкості на ділянках видиху від 25 до 50 % ФЖЄЛ та ін., характеризують відповідно прохідність великих, середніх та дрібних бронхів;

– МВЛ (MVV), *максимальна вентиляція легень* – об'єм повітря, що проходить через легені при максимально частому і глибокому диханні; пробу зазвичай проводять протягом 10–15 с і результат перераховують на 1 хвилину.

При вимірі дихальних об'ємів необхідно враховувати температуру повітря, його вологість та атмосферний тиск.

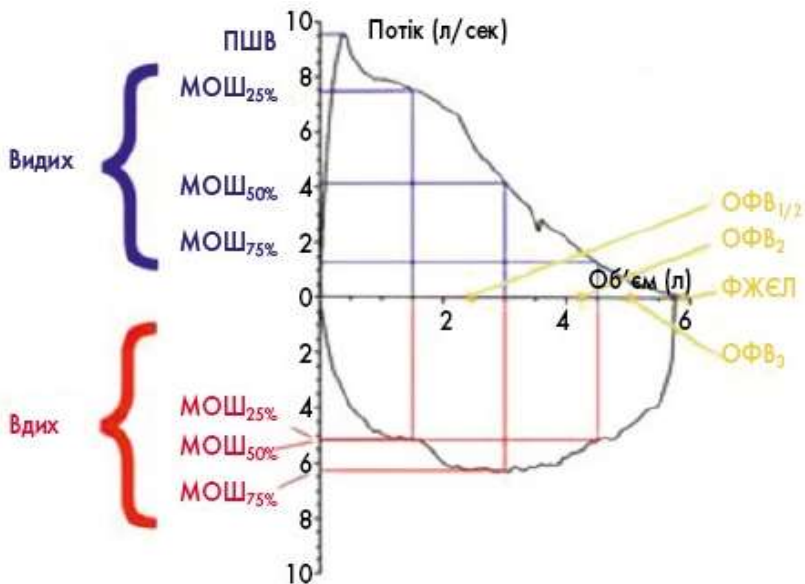


Рис. 5. Динамічні показники спірометрії
(ілюстрацію взято з інтернет-порталу <https://health-ua.com/article/67272-spirometrya>)

Оцінка параметрів спірометрії

Інтерпретація всіх спірографічних показників будується з розрахунку відхилення фактичних величин від належних.

Належна величина – величина відповідного показника здорової людини з такими ж масою і зростом, того ж віку, статі та раси, що й у обстежуваного. Існує багато різних формул належних величин параметрів системи дихання.

На першому етапі обробки даних спірометрії проводиться визначення показників у відсотках від їх належних величин. Далі вони порівнюються з існуючою певною межею норми.

Таблиця 2

Значення показників спірометрії у % від їх належних величин

Показник	Норма
ЖЄЛ	> 80 % від належного
ФЖЄЛ	> 80 % від належного
ОФВ1	> 80 % від належного
Індекс Тіффно	> 70 % від належного
МОШ25	> 65 % від належного
МОШ50	> 60 % від належного
МОШ75	> 55 % від належного

Іншими варіантами інтерпретації результатів є оцінка z-score або відповідно до процентилю. Визначені популяцією показники z-score або процентильні значення описують ймовірність того, що спостережуваний результат потрапляє в розподіл значень у здорових людей (рис. 6). На 5-му процентилі (що відповідає z-score – 1,645) існує 5 % ймовірність того, що результати у здорової людини будуть на цьому рівні або нижче. Тому показники вище 5-го процентилю або за z-score більші за 1,645 відповідають нормі.

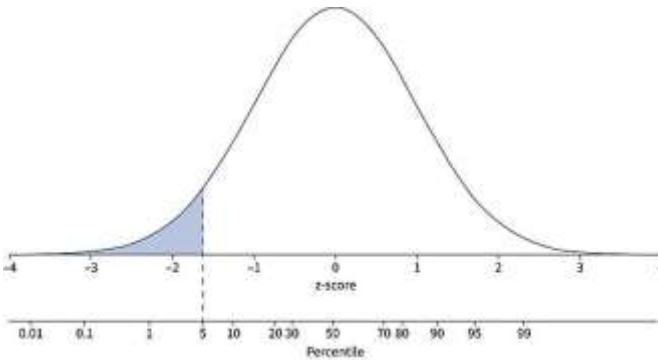


Рис. 6. Нормальний розподіл із відображеними z-score та процентилями (ERS/ATS technical standard on interpretive strategies for routine lung function tests / Sanja Stanojevic et al. *European Respiratory Journal*. Jul 2022. № 60 (1) 2101499; DOI: 10.1183/13993003.01499-2021)

При оцінці параметрів показників ФЗД виділяють обструктивні, рестриктивні, змішані порушення зовнішнього дихання або варіант норми (рис. 7).



Рис. 7. Основні патерни порушень функції зовнішнього дихання (ілюстрацію взято з інтернет-порталу <https://med-ukraine.info/news/2019/spirometriya-510>)

Обструктивний тип вентиляційних порушень. Найчастіше показання до проведення спірометричного дослідження – виявлення обструкції дихальних шляхів та оцінка ступеня її важкості.

Одним із найбільш чутливих показників зниження прохідності дихальних шляхів (обструктивні порушення) є зменшення $ОФВ_1$, проте оцінка отриманих показників у дітей відрізняється від такої у дорослих. У дітей при діагностиці порушень акцент робиться не лише на зниженні $ОФВ_1$, але й на аналізі всієї кривої з урахуванням усіх швидкісних показників.

Обструктивний тип вентиляційних порушень характеризується зниженням співвідношення $ОФВ_1/ФЖЄЛ$ при нормальній або помірно зниженій $ФЖЄЛ$. Найчастішою причиною є звуження просвіту дистальних дихальних шляхів, при бронхіальній астмі, емфіземі легень, муковісцидозі тощо.

Аналіз показників кривої потік-об'єм дозволяє виявити порушення бронхіальної прохідності, визначити ступінь тяжкості цих порушень, а також рівень ураження: порушення прохідності дрібних (або дистальних) бронхів, великих (або центральних) бронхів або генералізовані порушення. Початкова частина кривої потік-об'єм характеризує прохідність центральних дихальних шляхів. Зниження показників $ОФВ_1$, пікової швидкості видиху та максимальної об'ємної швидкості видиху на рівні 25 % $ФЖЄЛ$ ($МОШ_{25}$) при хорошій відтворюваності кривої свідчить про порушення прохідності великих бронхів. Зменшення $МОШ_{50}$ та $МОШ_{75}$ і швидкісних показників ($СОШ_{25-75}$ та $СОШ_{75-85}$ – середня об'ємна швидкість на ділянках 25–75 та 75–85 % $ФЖЄЛ$ відповідно) характерно для порушення прохідності дистальних дихальних шляхів. Генералізована обструкція характеризується зниженням усіх показників, зменшенням площі під кривою, збільшенням часу видиху, а у виражених випадках зменшенням $ФЖЄЛ$.

Рестриктивний тип вентиляційних порушень. Рестриктивні порушення вентиляції легень обумовлені процесами, що знижують їх еластичність і, отже, обмеженим наповненням легень повітрям. Виникають при інтерстиціальних захворюваннях легень, значній запальній інфільтрації легеневої тканини, гіпоплазії та ателектазах легені, після резекції легеневої тканини. До рестрикції також може призводити і ураження грудного відділу хребта, ребер та дихальної мускулатури. При рестриктивних змінах вентиляційної функції відзначається стійке зниження $ЖЄЛ$ (особливо в поєднанні з незмінним або збільшеним співвідношенням $ОФВ_1/ФЖЄЛ$), але достовірно говорити про цей вид порушень можна тільки після визначення загальної ємності легень ($ЗЄЛ$), яку не можна виміряти під час проведення спірометрії.

Змішані вентиляційні порушення

Для цього типу порушень характерно звуження дихальних шляхів та зменшення легеневого об'єму. Реєструється зниження $ЖЄЛ$, $ФЖЄЛ$, $ОФВ_1$ та $ОФВ_1/ФЖЄЛ$.

Змішані (або комбіновані) види порушень характеризуються спрямованістю змін параметрів зовнішнього дихання залежно від переважання обструкції або рестрикції.

4.2. Пікфлоуметрія

Моніторинг поточного стану бронхіальної прохідності в домашніх умовах може проводитися за допомогою пікфлоуметрії.

Самостійний вимір пікової швидкості видиху (ПШВ) у стаціонарні або домашніх умовах дозволяє:

- діагностувати обструктивні порушення дихальних шляхів;
- встановити контроль за ступенем тяжкості обструкції у динаміці;
- визначити фактори, що посилюють бронхіальну обструкцію;
- оцінити ефективність терапії, що проводиться, підібрати дозу лікарського препарату;
- коригувати терапевтичний комплекс при тривалій терапії.

Пікфлоуметр – портативний прилад (рис. 8), який має на корпусі цифрову шкалу, що показує пікову швидкість форсованого видиху в л/с або л/хв і змінний мундштук (загубник).



Рис. 8. Приклади пристроїв для пікфлоуметрії

Вимірювання ПШВ (часто називають вимірюванням пікового потоку), на відміну від повної спірометрії, вимагає лише короткого видиху, без необхідності тривалого зусилля на видиху, і тому це можливо для дітей молодшого віку від чотирьох до шести років. Звичайно як результат обирається найвищий із трьох показників ПШВ. Портативність і простота використання недорогих версій пікфлоуметрів зробили цей пристрій поширеним у закладах первинної медичної допомоги та вдома.

Пікфлоуметр не є дешевою альтернативою спірографу, хоча перший пристрій має кілька важливих обмежень. Вимірювання, отримані пікфлоуметром, дуже залежать від зусиль, тому інколи діти можуть маніпулювати отриманими результатами. Оскільки пікфлоуметри не є точними інструментами, можна спостерігати широкі варіації зареєстрованої ПШВ між

пристроями, навіть однієї марки. Таким чином, вимірювання, виконані іншими пристроями, ніж ті, які зазвичай використовує пацієнт, слід інтерпретувати з обережністю.

Пікфлоуметри мають обмежену роль у встановленні діагнозу астми, однак вони можуть бути корисними для визначення тяжкості загострень астми як шляхом порівняння вимірювань ПШВ з нормативними даними для конкретної популяції (табл. 3), так і, що більш важливо, із попередньо встановленими базовими значеннями («особистий рекорд»). Такі вимірювання ПШВ зазвичай використовуються для допомоги у визначенні рівнів втручань відповідно до плану лікування астми.

Таблиця 3

**Нормативні показники пікової швидкості видиху
залежно від зросту дитини**

<i>Зріст, см</i>	<i>Показник ПШВ, л/хв</i>	<i>Зріст, см</i>	<i>Показник ПШВ, л/хв</i>
109	147	142	320
112	160	145	334
114	173	147	347
117	187	150	360
119	200	152	373
122	214	155	387
124	227	157	400
127	240	160	413
130	254	163	427
132	267	165	440
135	280	168	454
137	293	170	467
140	307		

Кілька варіантів електронних портативних спірометрів (деякі з них є недорогими), які вимірюють ФЖЄЛ та ОФВ1 разом із ПШВ, доступні для використання в домашніх умовах. Наявність ОФВ1, більш стандартизованого та надійного спірометричного параметра, має замінити ПШВ для індивідуального моніторингу з відносно помірним збільшенням вартості.

Пацієнт постійно носить зазначений прилад із собою і самостійно проводить вимірювання не рідше, ніж двічі на добу (вранці та ввечері), іноді кожні 3–4 год, а також додатково при появі дихального дискомфорту.

При вимірі пацієнт повинен:

- поставити показчик приладу на початку цифрової шкали;
- тримати пікфлоуметр таким чином, щоб пальці не торкалися шкали, при цьому краще встати або сидіти прямо;
- зробити максимально глибокий вдих і стиснути щільно губами мундштук;
- видихнути якнайсильніше і швидко (наприклад, задути полум'я свічки);

- подивитися результат на шкалі приладу, знову поставити вказівник приладу біля початку шкали і повторити вимір ще двічі;
- записати найвищий із трьох показників у спеціальний щоденник самоспостереження, де вказано час вимірювання.

Аналіз отриманих результатів:

- ПШВ ранкова, отримана відразу після пробудження та прийому лікарських препаратів у л/хв або/та у % до належної величини;
- ПШВ вечірня, після прийому ліків у л/хв та/або у % до належної величини;
- розрахунок середньої величини ПШВ (ранкова + вечірня) / 2, % від належного значення або кращого особистого показника;
- середньодобова варіабельність – розкид між максимальними та мінімальними значеннями, особливо важливий розкид між ранковими та вечірніми вимірами; якщо різниця в показниках вранці і ввечері становить 20 % і більше, то у такої дитини висока ймовірність діагнозу бронхіальної астми.

Представляти зареєстровані показники пікфлоуметрії можна як у графічній формі, так і у формі простого цифрового запису. Показники аналізуються лікарем під час наступного візиту пацієнта.

4.3. Бронходилатаційний тест

Для виявлення ступеня оборотності виявлених обструктивних порушень використовують фармакологічну пробу: дослідження показників бронхіальної прохідності до і після застосування бронхолітиків – бронходилатаційний тест (рис. 9). Цей тест також служить для встановлення показань до бронхолітичної терапії та вибору найефективнішого лікарського препарату.

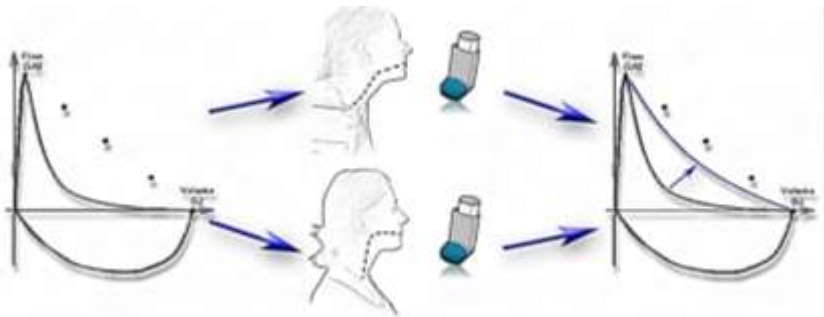


Рис. 9. Ілюстративне представлення бронходилатаційного тесту.

На графіку ліворуч представлено результати спірометрії до прийому бронхолітика.

На графіку праворуч (синім кольором) показано зменшення ступеня вираженості бронхіальної обструкції (ілюстрацію взято з інтернет-ресурсу

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0954611115300305>)

Найчастіше досліджують вплив бронходилататорів на показники форсованого видиху (крива «потік-об'єм»), головним чином – ОФВ₁. Інші показники кривої форсованого видиху, зокрема форсовані потоки на різних рівнях ФЖЄЛ не можуть бути критерієм оборотності, оскільки сама ФЖЄЛ, відносно якої розраховуються ці потоки, змінюється у процесі дослідження.

У педіатричній практиці використовують такі дози препаратів: сальбутамол та фенотерол/іпратропій у дітей до 7 років – 1 інгаляція, старше 7 років – 2 інгаляції; форадил та іпратропій – 1 інгаляція незалежно від віку. Інгаляції сальбутамолу і фенотеролу/іпратропію у всіх дітей проводять за допомогою спейсера або небулайзера. Дозовані аерозольні інгалятори у дітей можна використовувати лише у разі неможливості здійснення видиху через ніс.

Підліткам старше 12 років бронходилатаційну пробу проводять так само, як дорослим (400 мкг сальбутамолу через спейсер).

Тест із бронхолітиком проводиться незалежно від вихідних значень показників спірометрії: при нормальних показниках його також можна виконувати. Позитивний тест з бронхолітиком у дітей, які хворіють на бронхіальну астму, з початково нормальними показниками спірометрії свідчить про неповний контроль захворювання.

Оцінка проби

Досить поширеним є метод розрахунку приросту ОФВ₁, вираженого в процентах від вихідної величини

$$\frac{\text{ОФВ}_1 (\text{після бронхолітика}) - \text{ОФВ}_1 (\text{до прийому бронхолітика})}{\text{ОФВ}_1 (\text{до прийому бронхолітика})} 100 \%$$

Збільшення ОФВ₁ на 12 % і більше у порівнянні з вихідним значенням у дітей пропонують оцінювати як позитивний тест із бронхолітиком.

Проте більш коректним вважається спосіб розрахунку по відношенню до належної величини:

$$\frac{\text{ОФВ}_1 (\text{після бронхолітика}) - \text{ОФВ}_1 (\text{до прийому бронхолітика})}{\text{ОФВ}_1 (\text{належний})} 100 \%$$

4.4. Бронхоконстрикторні (провокаційні) проби проводять тільки у пацієнтів із нормальною вентиляційною функцією легень (ОФВ₁ ≥ 80 %). Як подразники використовують фармакологічні препарати (ацетилхолін, метахолін), холодне повітря, фізичне навантаження.

Виявляють неспецифічну гіперреактивність дихальних шляхів. Позитивною пробу вважають при зниженні ОФВ₁ на 20 % від вихідного, вона свідчить про підвищення бронхіального тонуусу у відповідь на подразники, які у здорових людей не викликають подібної реакції.

Індукована фізичним навантаженням бронхоконстрикція визначається як астма фізичного зусилля. Для її виявлення використовують дозоване фізичне навантаження на велоергометрі.

4.5. Імпульсна осцилометрія

Імпульсна осцилометрія – метод оцінки прохідності дихальних шляхів за допомогою спеціального пристосування, що генерує потік форсованих (нав'язаних) осциляцій частотою коливань від 5 до 35 Гц (імпульсів), що накладаються на дихання пацієнта, потрапляючи через вимірювальну частину пристрою у дихальні шляхи (рис. 10).

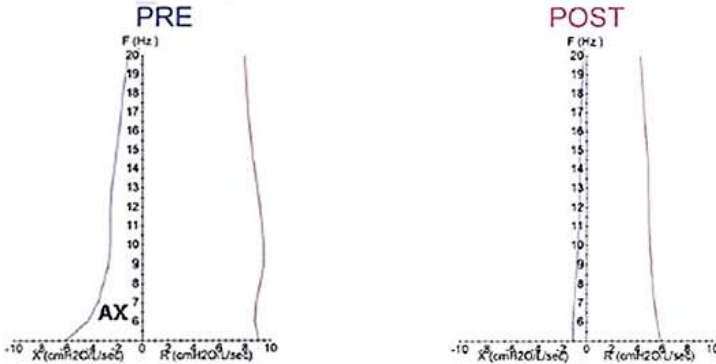


Рис. 10. Результати імпульсної осцилометрії до прийому бронхолітика (зліва) та після – праворуч (ілюстрацію взято з інтернет-ресурсу <https://europepmc.org/article/pmc/3401927>)

Імпульсна осцилометрія є альтернативою спірометрії у дітей молодшого віку, оскільки вона не вимагає активних дій. Однак цей метод не є легкодоступним, що обмежує його клінічну користь.

У видихуваному потоці вимірюються тиск (P) та об'ємна швидкість (V) осциляцій. Їх відношення являє собою загальний дихальний імпеданс: $Z_{TS} = P/V$. Загальний дихальний імпеданс складається з резистивного імпедансу (R_{TS} -резистансу) та реактивного опору (X_{TS} -реактанс). Резистанс характеризує нееластичний фракційний опір, тоді як реактанс – суму еластичного та інерційного опору. У вказаному діапазоні частот R_{TS} має зворотну залежність від частоти осциляцій і зменшується від 5 до 35 Гц. У реактансі (X_{TS}) еластична частина опору представлена негативними величинами, а інерційна – позитивними. Точка переходу реактансу з негативних значень в позитивні називається резонансною частотою (F_{RS}). Реєстрація параметрів ІОМ здійснюється тричі при спокійному диханні пацієнта протягом 40–60 с, рідше довше (до отримання маневрів, що відтворюються). Метод ІОМ може використовуватися у дітей, починаючи з 2,5 року. Вимірювання ІОМ на початковому рівні та після прийому бронходилататорів суттєво відрізнялося у дітей віком від трьох до шести років з астмою та без неї, тоді як при традиційній спірометрії суттєвих відмінностей не спостерігалось.

ЮМ може виявити зміни в дихальній механіці, які не спостерігаються при спірометрії навіть у дітей старшого віку.

На відміну від дорослих, у дітей бронхіальний опір залежить від зросту дитини і в міру дорослішання та збільшення зростання значно знижується незалежно від методу діагностики.

4.6. Бодіплетизмографія

Одним із методів дослідження функції зовнішнього дихання є бодіплетизмографія (БПГ), яка дозволяє визначити внутрішньогрудний газовий об'єм (ВГО) легень та оцінити легеневий об'єм та його складові, зокрема такі, які не можна оцінити при проведенні спірометрії, а саме функціональну залишкову ємність легень (ФЗЄЛ), залишковий об'єм легень (ЗОЛ), загальну ємність легень (ЗЄЛ), а також бронхіальний опір (БО).

Раніше для визначення ФОЕ використовували методи розведення газів (газодилуційні методи): метод розведення гелію в закритій системі, вимивання азоту методом множинних дихань, вимивання азоту методом одиночного вдиху та ін. Однак наразі ці методи не знаходять широкого застосування в клінічній практиці.

У даний час широко використовується БПГ, яка дозволяє протягом 10–15 хв не тільки зробити кілька вимірювань ВГО (від 3 до 5), але і зареєструвати показники БО, петлю потік-об'єм і розрахувати ОЕЛ. Традиційно ВГО вимірюється після спокійного видиху, на рівні ФЗЄЛ.

Відмінність описаних вище методів полягає в тому, що ФЗЄЛ, виміряна газодилуційним методом, відображає лише вентиляований об'єм, тоді як ФЗЄЛ, виміряна методом БПГ, включає як вентиляовані, так і невентильовані або погано вентиляовані об'єми (наприклад, повітряні пастки, булли, бронхоектази.) Таким чином, головною метою проведення БПГ є вимір ВГО, що дозволяє оцінити ЗЄЛ та її складові.

Дослідження проводиться в такий спосіб. Пацієнта всаджують у спеціальну закриту герметичну кабінку (камеру) з постійним об'ємом повітря, він спокійно дихає через загубник. Під час дослідження з допомогою пневмотахографа реєструється потік повітря, що вдихається і видихається пацієнтом. За допомогою сенсора тиску фіксується зміна тиску повітря в камері ($P_{\text{кам}}$), оскільки рух грудної клітки під час дихання викликає у камері коливання тиску. Крім того, вимірюється тиск у ротовій порожнині ($P_{\text{рот}}$). У кінці одного з видихів, на рівні ФЗЄЛ, дихання пацієнта короткочасно переривається шляхом закриття дихальної трубки спеціальним клапаном.

Таким чином, для кількісної оцінки ВГО під час маневру перекриття потоку необхідно виміряти початкове $P_{\text{рот}}$ на рівні ФЗЄЛ та визначити коефіцієнт пропорційності між $P_{\text{рот}}$ та $P_{\text{кам}}$.

Під час проведення БПГ виконується від 3 до 5 маневрів перекриття потоку та обчислюється середнє значення ВГО (VGO_{cp}). Показники

вважаються відтвореними, якщо відношення різниці між максимальним та мінімальним значеннями ВГО до ВГО_{ср} вбирається у 5 %.

БПГ дозволяє за короткий проміжок часу отримати великий об'єм різноманітної фізіологічної інформації, насамперед, оцінити вентиляційну здатність легень за станом легеневих об'ємів та ємностей, а також за швидкістю руху повітря та опором у дихальних шляхах (рис. 11).

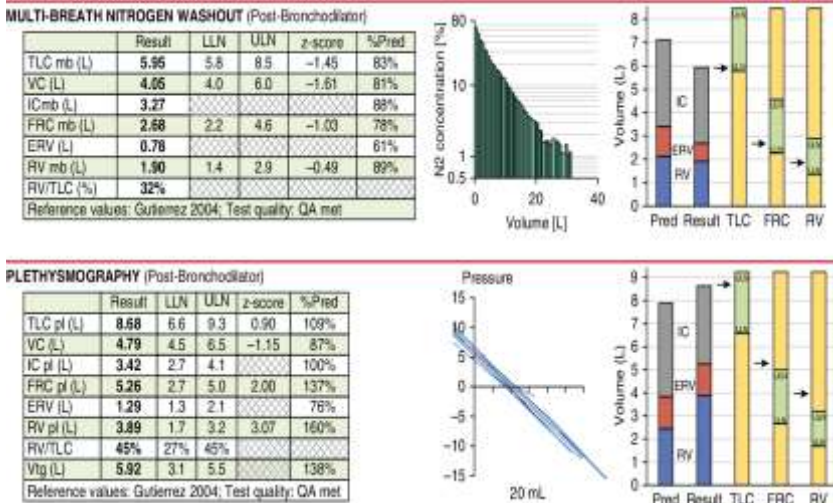


Рис. 11. Приклад звіту дослідження об'ємів легень в одного пацієнта за допомогою вимивання азоту (N₂) під час багатократного вдиху та в іншого пацієнта за допомогою плетизмографії. Гістограми праворуч показують прогнозовані та спостережувані значення RV, FRC і TLC, а стрілки показують ці результати відносно їх нормального діапазону на вертикальних лінійних шкалах.

Графіки зображують RV синім, ERV оранжевим, IC сірим і нормальний діапазон – зеленим

5. СИТУАЦІЙНІ ЗАДАЧІ

Задача 1. Мати шестирічної дівчинки скаржитися на підвищення температури тіла дитини до 37,5 °С, сухий малопродуктивний кашель, задишку під час фізичного навантаження, слабкість. За даними анамнезу, дівчинка хворіє на муковісцидоз. Діагноз поставили на першому місяці життя дитини, у віці одного року встановлено діагноз: муковісцидоз, змішана форма, важкий перебіг. При обстеженні: частота дихання – 26/хв. Видих подовжений, сухі хрипи при форсованому видиху. Перкуторно: коробковий звук над легеневидами полями. Частота серцевих скорочень – 120/хв. При дослідженні функції зовнішнього дихання (ФЗД): спірометрія показники ЖЄЛ – 58 % від норми; ОФВ₁ – 51 % від норми; індекс Тіффно – 65 %.

Ваш попередній діагноз? Який тип та ступень порушення ФЗД у дитини? Чи показана госпіталізація дитини?

Відповідь. *Муковісцидоз, змішана форма, важкий перебіг, фаза загострення. Змішаний тип порушення ФЗД; середньої важкості. Лікування в умовах стаціонару.*

Задача 2. Хлопчик віком 7 років страждає на бронхіальну астму протягом двох років. Симптоми астми спостерігаються 2–3 рази на місяць. Базову терапію астми приймає не регулярно. За останні три доби стан дитини погіршився. З'явився сухий кашель, сухі хрипи при форсованому видиху. При обстеженні: частота дихання – 22/хв. Перкуторно над легеневидами полями легеневий звук з коробковим відтінком. Аускультативно: дихання жорстке, поодинокі сухі хрипи. Частота серцевих скорочень – 104/хв. Показники спірометрії: ЖЄЛ – 86 % від норми; ОФВ₁ – 74 % від норми; МОШ₅₀ – 65 %; МОШ₂₅ – 45 % від норми.

Який тип та ступень порушення ФЗД у дитини? Який додатковий функціональний тест потрібно провести дитині для уточнення схеми лікування?

Відповідь. *Обструктивний тип порушення ФЗД легкого ступеня. Дитині потрібно провести тест на зворотність обструкції з бронхолітиком (сальбутамол). Тест бажано провести в динаміці на тлі базисної терапії.*

Задача 3. Хлопчик віком 7 років має скарги на періодичний кашель, інколи порушення носового дихання. Симптоми з'являються на тлі ГРВІ, цвітіння амброзії та при фізичних навантаженнях. З анамнезу відомо, що дитина з трьох років життя почала часто хворіти на ГРВІ та обструктивні бронхіти (3–4 рази на рік). У 5 років було встановлено діагноз: алергічний риніт.

Який діагноз можна запідозрити у дитини? Які дослідження функції зовнішнього дихання потрібно провести для уточнення діагнозу?

Відповідь. *У дитини можна запідозрити формування бронхіальної астми. В плані обстеження дитині необхідно провести спірометрію для оцінки легеневих об'ємів та показників швидкості видиху. Якщо буде виявлено ознаки порушення ФЗД, необхідно провести бронхолітичний тест. Якщо показники ФЗД будуть у межах вікової норми, пацієнту потрібно провести осциляторну спірометрію з вивченням рівня бронхіального опору з метою пошуку проявів прихованого бронхоспазму.*

6. ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ

1. Виберіть послідовність етапів зовнішнього дихання:
 - A. Вентиляція, легеневий кровотік, дифузія.
 - B. Дифузія, вентиляція, легеневий кровотік.
 - C. Вентиляція, дифузія, легеневий кровотік.
 - D. Легеневий кровотік, дифузія, вентиляція.
2. Життєва ємність, легень складається з:
 - A. Резервного об'єму вдиху, дихального об'єму, залишкового об'єму легень.
 - B. Дихального об'єму, резервного об'єму вдиху, резервного об'єму видиху.
 - C. Резервного об'єму видиху, резервного об'єму вдиху, залишкового об'єму легень.
 - D. Дихального об'єму, резервного об'єму видиху, залишкового об'єму легень.
3. Життєва ємність легень різко знижується за умов, крім:
 - A. Пневмотораксу.
 - B. Серцевої недостатності.
 - C. Фізіологічного «спортивного» серця.
 - D. Ексудативного плевриту.
4. Які об'єм легень можна виміряти прямою спірографією?
 - A. Дихальний.
 - B. Залишковий.
 - C. Резервний.
 - D. Життєву ємність легень.
5. Частота дихання впливає на:
 - A. Життєву ємність легень.
 - B. Резервний об'єм вдиху.
 - C. Хвилинний об'єм дихання.
 - D. Залишковий об'єм легень.
6. Визначте правильну відповідь:
 - A. Альвеолярна вентиляція менше хвилинного об'єму дихання.
 - B. Альвеолярна вентиляція більше хвилинного об'єму дихання.
 - C. Альвеолярна вентиляція дорівнює хвилинному об'єму дихання.
 - D. Альвеолярна вентиляція не залежить від хвилинного об'єму дихання.
7. Альвеолярна вентиляція залежить від наступних параметрів, крім:
 - A. Дихального об'єму.
 - B. Частоти дихання.
 - C. Величини мертвого простору.
 - D. Життєвої ємності легень.
8. Які з перелічених об'ємів та ємностей мають значення для оцінки резерву дихання?
 - A. Дихальний об'єм та ємність вдиху.
 - B. Резервний об'єм вдиху та життєва ємність легень.
 - C. Максимальна вентиляція легень та хвилинний об'єм дихання.
 - D. Резервний об'єм вдиху та видиху, залишковий об'єм легень.

9. Основними функціональними ознаками синдрому бронхіальної обструкції є наступні, крім:
- A. Збільшення бронхіального опору.
 - B. Зниження потужності форсованого видиху.
 - C. Зниження ЖЕЛ.
 - D. Збільшення ХВЛ.
10. Обструктивне ураження легень супроводжується наступними змінами, крім того, що:
- A. Частота дихання зменшується.
 - B. Резервний об'єм видиху збільшується.
 - C. Дихальний об'єм збільшується.
 - D. Резервний об'єм видиху зменшується.
11. Тривала обструкція призводить до:
- A. Збільшення резервного об'єму видиху.
 - B. Збільшення максимальної вентиляції легень.
 - C. Збільшення залишкового об'єму легень.
 - D. Зменшення резервного об'єму легень.
12. Знижений індекс Тіффно позначається:
- A. Порушенням вентиляції за рестриктивним типом.
 - B. Порушенням вентиляції за обструктивним типом.
 - C. Збільшенням залишкового об'єму легень.
 - D. Не вказує на порушення вентиляції.
13. На результат визначення легневих об'ємів та ємностей впливає:
- A. Вологість повітря.
 - B. Швидкість вітру.
 - C. Вологість, температура повітря, атмосферний тиск.
 - D. Температура тіла.

Відповіді

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
C	B	C	A	C	A	D	C	D	B	C	B	C

7. ЛІТЕРАТУРА

1. Інтернет-ресурс <https://www.uptodate.com/>
2. Наказ МОЗ України № 2856 від 23 грудня 2021 року «Про затвердження Уніфікованого клінічного протоколу первинної та вторинної (спеціалізованої) медичної допомоги «Бронхіальна астма у дітей»
3. Марушко Ю. В., Борисюк М. В. Спірометрія. *Здоров'я України*. 2021. № 4 (60).
4. Standardization of Spirometry 2019 Update. An Official American Thoracic Society and European Respiratory Society Technical Statement / B. L. Graham et al. *Am J Respir Crit Care Med*. 2019. № 200. P. 70.
5. Nasal Nitric Oxide Measurement in Primary Ciliary Dyskinesia. A Technical Paper on Standardized Testing Protocols / A. J. Shapiro et al. *Ann Am Thorac Soc*. 2020. № 17.
6. Multi-ethnic reference values for spirometry for the 3–95-yr age range: the global lung function 2012 equations / P. H. Quanjer et al. *Eur Respir J*. 2012. № 40. P. 1324.
7. Technical standards for respiratory oscillometry / Gregory G. King et al. *European Respiratory Journal*. Feb 2020. № 55 (2) 1900753; DOI: 10.1183/13993003.00753-2019
8. Інтернет-ресурс <https://empendium.com/>
9. Reversibility of pulmonary function after inhaling salbutamol in different doses and body postures in asthmatic children / R. Visser et al. *Respiratory Medicine*. Vol. 109, Issue 10. 2015. P. 1274–1279, ISSN 0954-6111, <https://doi.org/10.1016/j.rmed.2015.07.015>.

Навчальне видання

ФУНКЦІОНАЛЬНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ В ДИТЯЧІЙ ПУЛЬМОНОЛОГІЇ

***Методичні вказівки
для здобувачів вищої освіти 5-6-х курсів
за спеціальностями «Медицина» та «Педіатрія»,
лікарів-інтернів, лікарів-педіатрів,
лікарів загальної практики – сімейної медицини***

Упорядники Гончарь Маргарита Олександрівна
 Поляков Валентин Володимирович
 Іщенко Тетяна Борисівна
 Онікієнко Олександр Леонідович
 Бужинська Надія Романівна

Відповідальний за випуск В. В. Поляков



Редактор Є. В. Рубцова
Комп'ютерна верстка О. Ю. Лавриненко

Формат А5. Ум. друк. арк. 2,0. Зам. № 24-34396.

**Редакційно-видавничий відділ
ХНМУ, пр. Науки, 4, м. Харків, 61022
izdatknmurio@gmail.com**

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного реєстру видавництв, виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції серії ДК № 3242 від 18.07.2008 р.