

Міністерство освіти і науки України
Волинський національний університет імені Лесі Українки
Медичний факультет
Кафедра внутрішньої та сімейної медицини



Автор: Яковенко О. К.

**ТЕСТУВАННЯ ЛЕГЕНЕВОЇ ФУНКЦІЇ (СПРОМЕТРІЯ,
ПЛЕТИЗМОГРАФІЯ, ДИФУЗІЯ ГАЗІВ ПО DLCO)**

Навчально-методичне видання

Луцьк, 2025

УДК 616.24-071(072)
Т 36

Рекомендовано до друку науково - методичною радою Волинського національного університету імені Лесі Українки

Протокол № 6 від 20 лютого 2025 р.

Рецензенти:

Дзюблик Ярослав Олександрович - д.м.н., провідний науковий співробітник ДУ «Національний науковий центр фізіатрії, пульмонології та алергології ім. Ф.Г. Яновського НАМН України»

Мартинюк Тарас Валентинович - кандидат медичних наук, доцент, завідувач кафедри акушерства, гінекології, педіатрії та дитячої хірургії ВНУ імені Лесі Українки.

Тестування легеневої функції (спірометрія, плетизмографія, дифузія газів по DLCO). Навчально-методичне видання / Яковенко О.К. Луцьк: ВНУ імені Лесі Українки, 2025. 42 с.

Навчально-методичне видання розроблене згідно навчальної програми з розділу Внутрішня медицина, в тому числі пульмонологія відповідно до вимог кредитно-модульної системи навчання. Містить елементи силабусу, методичні вказівки для лабораторних робіт.

Методичне видання призначено для викладачів, інтернів, лікарів та здобувачів освіти денної форми навчання галузі знань 22 Охорона здоров'я, спеціальності 222 Медицина освітньої програми Медицина в межах ОК Внутрішня медицина, в тому числі клінічна фармакологія, клінічна імунологія та алергія, профілактика хвороб.

УДК 616.24-071(072)

© Яковенко О.К., 2025

© Волинський національний університет імені Лесі Українки, 2025

ТЕСТУВАННЯ ЛЕГЕНЕВОЇ ФУНКЦІЇ ЯК ОДИН З ОСНОВНИХ ДІАГНОСТИЧНИХ ІНСТРУМЕНТІВ РЕСПІРАТОРНОГО СПЕЦІАЛІСТА

Настанови Європейського респіраторного товариства (ERS) та Американського торакального товариства (ATS)

Олег Костянтинович ЯКОВЕНКО

КМН, пульмонолог

завідувач кафедри внутрішньої та сімейної медицини
медичного факультету Волинського національного
університету імені Лесі Українки,

експерт за напрямом терапії та сімейної медицини УОЗ
Волинської ОДА

член Європейського респіраторного товариства (ERS),
Європейської академії з алергології та клінічної імунології
(EAACI)

Ми маємо змінити парадигму мислення щодо терміну «функція зовнішнього дихання», замінивши його терміном «тестування легеневої функції», який являє собою діагностичну тріаду (спірометрія, плетизмографія, дифузійна здатність легень), яка повинна бути рутинною діагностичною процедурою респіраторного спеціаліста експертного рівня у нашій країні.

Від авторів

Дихання

це обмін газами між клітинами організму та навколишнім середовищем; своєю чергою, воно поділяється на **зовнішнє і внутрішнє**, або клітинне, дихання.

Зовнішнє дихання у нормі забезпечується якісною роботою **дихальної системи (ДС)** шляхом чергування активного вдиху та пасивного видиху з певною частотою дихальних рухів в залежності від віку та фізіологічних потреб людського організму. Під час акту вдиху кисень із сумішшю газів через верхні дихальні шляхи (ніс, глотка та гортань) потрапляє у нижні дихальні шляхи (трахея та бронхіальне дерево) завдяки «дихальному насосу» (діафрагма та група дихальних м'язів з грудною кліткою) повітря у вигляді ламінарного та турбулентного потоку, долаючи супротив повітронесних шляхів, з певною швидкістю досягає транзиторної та респіраторної зони (термінальні бронхіоли, дихальні бронхіоли, альвеолярні ходи та альвеолярні мішечки), де власне відбувається **альвеолярна вентиляція (АВ)** і газообмін (рис. 1) [1, 2].

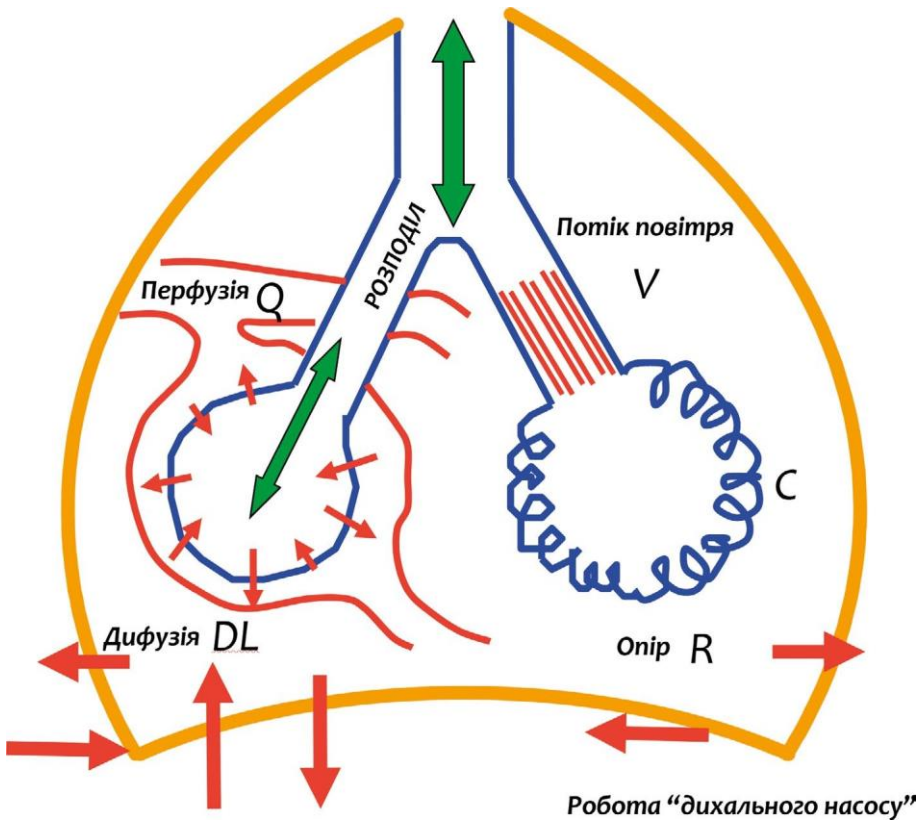


Рис. 1. Схема зовнішнього дихання

На етапі АВ кисень з альвеол потрапляє у кров легеневих капілярів через дифузійний бар'єр – альвеолярний епітелій, інтерстиційний простір, ендотелій капіляра та стінку еритроцитів, зв'язуючись в останньому з **гемоглобіном (Hb)** та перетворюючи його на **оксигемоглобін (HbO₂)** [1, 2]. Молекули кисню переміщуються з ділянки високого парціального тиску в альвеолах (100 мм рт. ст.) до ділянки низького – у венозній крові (40 мм рт. ст.) шляхом пасивного транспорту без зайвих енергетичних витрат, що, власне, і є дифузією.

Дифузійна здатність легень (DL)

визначається як швидкість потоку газу через легені (VG), поділена на градієнт тиску (P1-P2) [1, 2]

Рівень парціального тиску діоксиду вуглецю (CO_2) в артеріальній крові (PaCO_2) є найбільш суттєвим фактором регуляції хвилинної вентиляції (ХВ), яка контролюється через центральні хеморецептори [1, 2]. Збільшення PaCO_2 призводить до збільшення легеневої вентиляції (ЛВ), яка визначається глибиною дихання (інспіраторним, або дихальним, об'ємом, ДО) та частотою дихальних рухів (ЧД), які, своєю чергою, визначають хвилинний об'єм дихання (ХОД) [1, 2].

Хоча ХОД дає інформацію про вентиляцію легень, проте цей показник не можна вважати величиною, яка визначає ефективність дихання. Та частина ХОД, яка досягає альвеол, називається АВ, інша частина становить вентиляцію мертвого простору (МП).

Саме АВ є показником ефективності дихання, від якої залежить підтримання газового складу альвеолярного повітря, а альвеолярний газовий склад крові, своєю чергою, залежить від балансу АВ та легеневого капілярного кровотоку, або перфузії (Q), що відбувається на межі розділу альвеола/капіляр.

Ефективність газообміну залежить від чотирьох факторів:

- АВ;
- легеневого кровотоку, або перфузії;
- DL
- рівномірності цих трьох показників (див. рис. 1) [1, 2].

Слід розуміти, що при патологічних станах коефіцієнт DL може суттєво знижуватись внаслідок зменшення обмінної площі за рахунок зменшення загальної площі непрацюючих альвеол або збільшення дифузійної відстані внаслідок збільшення або потовщення дифузійного бар'єра [1, 2].

Порушення прохідності дихальних шляхів, функції «дихального насоса» та/або DL призводять до порушення газообміну з клінічними проявами гіпоксемії внаслідок **дихальних розладів (ДР)**. Коли клініцист стикається з клінічними проявами ДР, завжди постає питання пошуку причин таких респіраторних скарг, як задишка, кашель та візинг, з наступною обов'язковою оцінкою функціонального стану ДС. Діагностика респіраторної патології та інших ДР передбачає визначення вентиляційних показників та DL методом **тестування легеневої функції (ТЛФ)**.

ТЛФ відображає фізіологічні властивості легень (механізми повітряного потоку, об'єми та газоперенесення), що, своєю чергою, дає змогу лікарю оцінити дихальну функцію пацієнта при багатьох клінічних ситуаціях за наявності респіраторної симптоматики та факторів ризику виникнення захворювань легень [3, 4].

Рекомендації щодо проведення та інтерпретації ТЛФ регулярно розробляються та оновлюються міжнародною спільною робочою групою **Європейського респіраторного товариства (European Respiratory Society, ERS)** та **Американського торакального товариства (American Thoracic Society, ATS)**.

Слід розуміти, що **ТЛФ** – це динамічна процедура, яка потребує розуміння та фізичних зусиль з боку пацієнта, тому якість результатів обстеження залежить від правильного навчання пацієнта медичним персоналом, належної підготовки пацієнта (наприклад, заборона прийому перед **ТЛФ** ліків, що впливають на показники, зручний одяг, проведення процедури натще тощо), а також від когнітивної функції та фізичного стану самого пацієнта, який повинен розуміти та бути фізично здатним виконати процедуру **ТЛФ** з урахуванням усіх показань і протипоказань. Окрім того, показники **ТЛФ** залежать від низки фізіологічних і фізичних факторів, зокрема від віку, статі, антропометричних даних та етнічної приналежності, рівня **Нв**, положення пацієнта. Також результати **ТЛФ** залежать від самого обладнання, яке повинно бути справним, відкаліброваним та відповідати сучасним технічним стандартам та вимогам **ERS/ATS [3-7]**.

ТЛФ є безпечною процедурою, яка не спричиняє ускладнень, проте існує певна потенційна шкода від чотирьох ключових факторів, які можуть виникнути під час проведення процедури:

1. Максимальний тиск, що створюється в грудній клітці, і його вплив на органи/тканини черевної та грудної порожнин.
2. Великі коливання артеріального тиску створюють навантаження на тканини в організмі.
3. Розширення грудної стінки і легень.
4. Поширення інфекцій.

Протипоказання до ТЛФ пов'язані з цими чотирма факторами, щоб запобігти потенційним ускладненням, таким як гострий коронарний синдром, розрив аневризми, розкриття хірургічної рани та розповсюдження респіраторної інфекції. Тому **ТЛФ** проводять відповідно до вимог інфекційного контролю та з урахуванням протипоказань.

Основні протипоказання до ТЛФ:

- гостра дихальна недостатність;
- кровохаркання неясного походження;
- пневмоторакс;
- нестабільний серцево-судинний стан;
- нещодавно перенесений інфаркт міокарда;
- тромбоемболія легеневої артерії;
- аневризма аорти або головного мозку;
- нещодавня операція на оці;
- гострі розлади;
- що впливають на виконання тесту;
- такі як нудота або блювання;
- нещодавні торакальні або абдомінальні хірургічні процедури [3; 5].

Для визначення очікуваного діапазону **ТЛФ-показників** у здорових людей використовують **еталонні рівняння Глобальної ініціативи з дослідження функції легень (Global Lung Initiative, GLI)** для спірометрії, визначення **легеневих об'ємів (ЛО)** та **дифузійної здатності легень за CO (DLCO)**.

Еталонні рівняння **GLI** є внутрішньо узгодженими, забезпечуючи єдиний набір рівнянь для **ТЛФ**, який дає змогу уникати суперечливих результатів та потенційно неправильної класифікації фізіологічних фенотипів. Рівняння **GLI** чітко описують межі норми, які залежать від віку та охоплюють широкий віковий діапазон від 3 до 95 років. Рівняння **GLI** для **ЛО** коригуються за зростом, але не вагою. Зріст, вік і стать використовують для оцінки очікуваної функції легень у стані здоров'я та враховують широку біологічну мінливість між популяціями. Зріст сам по собі не визначає напряму розмір легень, але від нього залежить розмір грудної клітки, тому

детермінанти спостережуваних відмінностей зросту та розміру грудної клітки є багатограними і їх необхідно враховувати під час інтерпретації результатів **ТЛФ** [4].

Є дві важливі особливості при оцінці функції легень з урахуванням віку.

У дітей зріст тісно пов'язаний із хронологічним віком, за винятком періодів швидкого росту та розвитку, таких як статеве дозрівання, коли існує асинхронність росту та збільшення об'єму грудної клітки (непропорційне зростання паренхіми легень і калібру дихальних шляхів), у літніх людей ригідність грудної стінки, м'язів грудної стінки та еластичність легень змінюються з нормальним процесом старіння. Стать є важливим предиктором розміру легень, навіть з урахуванням різниці у зрості. Окрім того, **ЛО** змінюється під час вагітності, тому в цей і післяпологовий період результати **ТЛФ** потрібно інтерпретувати з обережністю [4].

Референсний діапазон норми являє собою розподіл значень на основі даних здорової популяції, а **нижня межа норми (НМН)** являє собою межу для визначення результатів, які виходять за межі діапазону значень, які зазвичай спостерігають у стані здоров'я.

НМН не обов'язково вказує на патофізіологічну аномалію і не є клінічно значущим порогом для діагностики захворювання. Вона показує, чи можна очікувати спостережуваного результату в інших здорових людей такого самого віку, статі та зросту. В ідеалі межі норми повинні ґрунтуватися на показниках особи до захворювання або на вихідному рівні.

Визначені популяцією **z-показники** або процентильні значення описують ймовірність того, що спостережуваний результат потрапляє в розподіл значень у здорових людей. Межі 5-го і 95-го процентилів (-1,645 і +1,645 z-показник) здорової популяції можна використовувати для ідентифікації осіб із надзвичайно низькими або високими результатами відповідно. На 5-му процентилі (що відповідає z-показнику -1,645) існує 5% ймовірність того, що результати у здорової людини будуть на цьому рівні або нижче. Оскільки зазвичай для спірометрії низькі значення вважають аномальними, стало стандартом визначати **НМН** як 5-й процентиль, приймаючи, що це призведе до того, що 5% здорових людей матимуть хибно-позитивний результат. Для **ЛО** та **DLCO**, які можуть виходити за межі нормального діапазону в будь-якому напрямку, ймовірність хибнопозитивних результатів зростає до 10% [4].

Згідно з рекомендаціями ERS/ATS, за допомогою ТЛФ аналізують три основні функціональні властивості легень:

- потік повітря під час вдиху й видиху;
- об'єми та ємність легень;
- альвеолярно-капілярне газоперенесення (**DLCO**).

ТЛФ не дає конкретного діагнозу, тому для встановлення діагнозу результати проведеного обстеження слід поєднувати з даними анамнезу, фізичного огляду та лабораторних досліджень. **ТЛФ** також дає можливість лікарю оцінити тяжкість легеневого захворювання, спостерігати за ним у часі з оцінкою відповіді на лікування [3-5, 7].

ТЛФ, згідно з рекомендаціями ERS/ATS, охоплює:

А. Спірометрію для визначення:

- об'єму та швидкості повітряного потоку повітря під час маневру форсованого дихання (форсована життєва ємність легень, **ФЖЄЛ/FVC**);
- вентиляційних показників під час спокійного дихання (повільна життєва ємність легень, **ПЖЄЛ/SVC**);
- вентиляційних показників після бронхопровокаційних тестів з альбутеролом та метахоліном.

Б. Плетизмографію (бодіплетизмографію) для визначення:

- загальної ємності легень (**ЗЄЛ/TLC**);
- залишкового об'єму (**ЗО/RV**);
- функціонально залишкової ємності (**ФЗЄ/FRV**);
- питомого опору дихальних шляхів (**sRaw**).

В. DLCO для визначення дифузійної здатності легень за СО (оксидом вуглецю) після проведення спірометрії та плетизмографії [3-5, 7].

Окрім того, за допомогою **ТЛФ** визначають інспіраторний та експіраторний тиск дихальних м'язів (**МІР/МЕР**), максимальну довільну вентиляцію (**МVВ/МДВ**), а також його проводять перед кардіопульмональним тестом (**СРЕТ**) [3, 8-10].

Силу дихальних м'язів оцінюють за максимальним тиском на вдиху (**максимальний інспіраторний тиск, МІР**) і максимальним тиском на видиху (**максимальний експіраторний тиск, МЕР**). **МІР** показує силу діафрагми та інших інспіраторних м'язів, тоді як **МЕР** вказує на силу черевних та інших експіраторних м'язів [3].

МДВ – це показник максимальної кількості повітря, яку можна вдихнути та видихнути протягом однієї хвилини. Для комфорту пацієнта це робиться протягом 15-секундного періоду часу, а потім перераховується у значення за одну хвилину, виражене в л/хв [8].

СПЕТ виконують, щоб оцінити як субмаксимальні, так і пікові відповіді легеневої, серцево-судинної та скелетно-м'язової системи на фізичне навантаження з визначенням максимального або пікового споживання кисню (**PVO_2 або VO_{2max}**), який споживається організмом за 1 хвилину під час фізичного навантаження, з визначенням виробленого **CO_2 (VCO_2)** та анаеробного порогу [9, 10].

Спірометрія

Спірометрія

це фізіологічний тест, який визначає здатність вдихати та видихати повітря відносно часу, що, своєю чергою, дає змогу визначити об'єм та швидкість повітряного потоку.

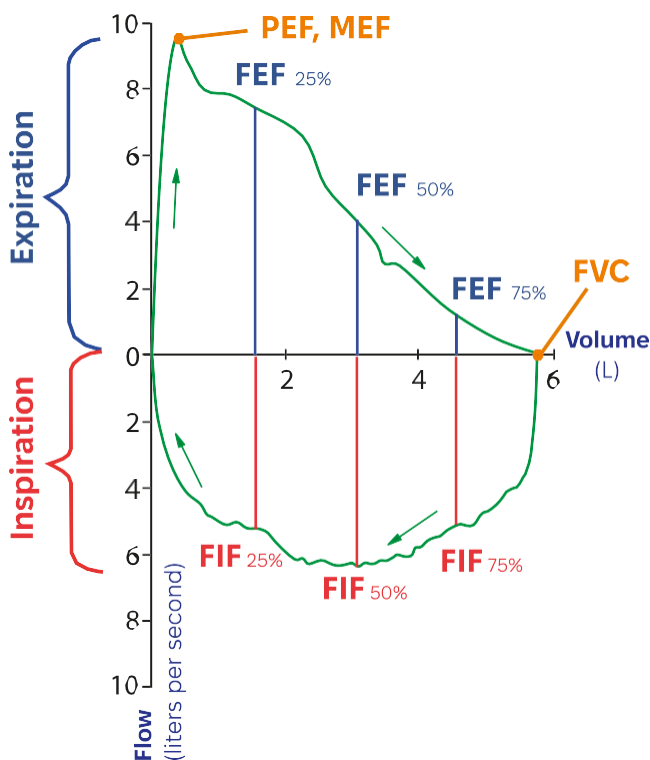


Рис. 2. Спірометрія. Крива «потік-об'єм» ФЖЄЛ

Спірометрія необхідна для діагностики та моніторингу прогресування різних ДР, виявлення легеневих захворювань, кількісної оцінки легеневої недостатності, моніторингу наслідків впливу професійного та навколишнього середовища, а також визначення впливу ліків.

Основні показники спірометрії (рис. 2):

- **ОФВ1 (FEV1):** об'єм форсованого видиху за 1-шу секунду;
- **ФЖЄЛ, або ФЖЄ (FVC):** форсована життєва ємність - максимальна кількість повітря, яке видихається після повного вдиху до залишкового об'єму з максимальною швидкістю та зусиллям;
- **ОФВ1/ФЖЄЛ (FEV1/FVC):** відношення **ОФВ1** до **ФЖЄЛ**;
- **ПШВ (PEF):** пікова швидкість видиху - максимальний потік, який можна видихнути, видихаючи якомога швидше;
- **МОШ 25%–50%–75% (FEF 25%–50%–75%):** форсований видих на рівні 25%, 50%, 75% **ФЖЄЛ** – максимальні об'ємні швидкості видиху, які визначаються за кривою «потік-об'єм» у точках, які відповідають верхівці кривої форсованого видиху 75%, 50% та 25% **ФЖЄЛ** (відсоток **ФЖЄЛ**, яка залишається в легенях на момент вимірювання);
- **ЖЄВд (IVC):** життєва ємність вдиху - максимальна кількість повітря, яку можна вдихнути після повного, максимального видиху з визначення потоків форсованого вдиху ПФВ (FIF).

Процедура спірометрії складається з трьох фаз:

1. Максимальний вдих;
2. Форсований «вибуховий» видих;
3. Продовження повного видиху до кінця проби з наступним вдихом.

Існують критерії прийнятності в межах маневру та критерії відтворюваності між маневром для спірометрії,

тому для якісної оцінки показників має бути виконано мінімум три спроби, але не більш ніж вісім, щоб уникнути розбіжності та отримати найкращий результат [3, 5, 7].

Бронхопровокаційне тестування

Існує кілька типів бронхопровокаційних тестів для оцінки чутливості дихальних шляхів. Фармакологічна проба чи фізична проба є найпоширенішими типами бронхопровокаційних тестів для встановлення точного діагнозу **бронхіальної астми (БА)**. Найбільш часто використовуваним засобом для бронхопровокації є **метахолін** (похідне ацетилхоліну) у дозах, що нарастають, приблизно від 0,03 мг/мл до 16 мг/мл.

Тест на бронхопровокацію зазвичай виконують після отримання вихідної спірометрії з використанням розчинника, який розпилюють через небулайзер протягом принаймні однієї хвилини, потім спірометрію повторюють двічі. Далі дозу метахоліну послідовно збільшують до зниження **ОФВ >20%**. Доза метахоліну, що зумовлює зниження **ОФВ1** більш ніж на 20%, називається **провокаційною дозою, або PD20**.

- Якщо провокаційна доза метахоліну **PD20** становить 8 мг/мл або менше, результат тесту вважають позитивним.
- Якщо провокаційна доза **PD20** перевищує 16 мг/мл, результат тесту вважається негативним.

Пацієнтам, які перенесли інфаркт міокарда, нестабільну хворобу серця або інсульт протягом попередніх трьох місяців, не слід проводити бронхопровокаційне тестування. Крім того, пацієнти з ОФВ <70% від прогнозованого виключаються з виконання тесту на бронхопровокацію [3].

Бронхолітичний тест на зворотність (БТЗ/BDR)

Бронхолітичний тест на зворотність обструкції (БТЗ/bronchodilator reversibility test, BDR)

зазвичай виконують для діагностики БА.

Першочергово проводять спірометрію, після чого призначають бронходилататор – β -агоніст короткої дії альбутерол (сальбутамол) в дозі 4 інгаляції по 100 мкг (400 мкг) через спейсер з проведенням повторної спірометрії та інтерпретацією даних через 15 хвилин [5].

Інтерпретувати результати **БТЗ** можна на основі двох підходів: верхньої межі очікуваних змін у здоровій популяції або порогу, при якому відбувається клінічно значуща подія. Встановлені методи оцінки зміни **ОФВ1** і **ФЖЄЛ** після введення бронходилататора: абсолютна зміна показників від початкового значення, відносна зміна показників, пов'язана з початковим значенням, або зміна показників, пов'язаних з індивідуальним прогнозованим значенням.

Поєднання абсолютної та відносної (у відсотках) зміни **ОФВ1** і **ФЖЄЛ** порівняно з початковим рівнем як доказ позитивного результату **БТЗ** було рекомендовано в заяві ATS/ERS 2005 (тобто підвищення **ОФВ1** та/або **ФЖЄЛ** >200 мл і $\geq 12\%$), проте **GLI** рекомендувала вважати позитивним результатом **БТЗ** зміну **ОФВ1** або **ФЖЄЛ** >10% відносно прогнозованого значення (див. Панель). Цей підхід дає змогу уникнути неправильної інтерпретації через величину базового рівня функції легень. Слід уникати надмірної залежності від суворих порогових показників для **БТЗ**, оскільки ці порогові показники схильні мати ті самі обмеження, що й нормальні межі. Важливо, що це не еквівалентно 10% зміні між вимірюваннями до і після застосування бронходилататора [4].

Рівняння GLI

$$\text{Реакція на бронходилататор} = \left(\frac{\text{значення після бронходилататора (л)} - \text{значення до бронходилататора (л)}}{\text{значення до бронходилататора (л)}} \right) \times 100\%$$

бронходилататор

Прогнозоване значення

Зміну >10% вважають значною бронхолітичною реакцією... прогнозоване значення слід визначати за допомогою рівняння **GLI** для спірометрії.

Наприклад

50-річний чоловік зростом 170 см до застосування бронходилататора має **ОФВ1** 2,0 л, після бронходилататора – 2,4 л. Прогнозований **ОФВ1** становить 3,32 л (інше рівняння **GLI**).

Реакція на бронходилататор

Таким чином, реакція на бронходилататор становить 12,1% від прогнозованого **ОФВ1** і класифікується як значуща.

Примітка. Зміни **ОФВ1** та **ФЖЄЛ** при БТЗ (BDR) слід виражати як відсоткову зміну відносно прогнозованого значення особи. Зміна >10% від прогнозованого значення вказує на позитивну відповідь [4].

Легеневі об'єми

Визначення **ЛО** є дуже важливим при **ТЛФ** для виявлення змін незалежно від зусилля, особливо коли під час проведення спірометрії виявляють зниження **ФЖЄЛ**. Вимірювання **ЛО** виконують під час маневру спокійного дихання (**ПЖЄЛ/SVC**). **ПЖЄЛ** включає в себе кілька важливих змінних, таких як дихальний об'єм (**ДО/TV**), резервний об'єм вдику (**Ровд/IRV**), резервний об'єм видиху (**Ровид/ERV**), що в сумі становить життєву ємність легень (**ЖЄЛ/VC**).

Для визначення таких **ЛО**, як залишковий об'єм (**ЗО/RV**), функціональна залишкова або резервна ємність (**ФЗЄ/FRC**) та загальна ємність легень (**ЗЄЛ/TLC**), існує два методи вимірювання: **плетизмографія тіла та методи газового розведення (МГР)**.

Для **МГР** використовують інертний газ (азот або гелій). Об'єм та суміш газів, що видихаються після досягнення рівноваги, дають змогу розрахувати **ФЗЄ**.

Під час класичної плетизмографії тіла пацієнт сидить усередині kabіни та дихає проти затворного клапана, де **ФЗЄ** розраховується за законом Бойля-Маріотта – за постійної температури й маси газу добуток тиску газу на його об'єм постійний. **ФЗЄ** при плетизмографії зазвичай більша у пацієнтів з обструктивними захворюваннями легень, ніж **ФЗЄ**, розрахована за допомогою **МГР**, тому плетизмографію вважають золотим стандартом визначення **ЛО**, особливо при гетерогенній обструкції повітряного потоку, наприклад, при **хронічному обструктивному захворюванні легень (ХОЗЛ)** або **БА**, де плетизмографія більш точна, ніж розведення гелієм.

Вимірювання ЗЄЛ є золотим стандартом діагностики рестриктивних захворювання легень:

ЗЄЛ менше ніж 80% свідчить про порушення вентиляції за рестриктивним типом [3, 4].

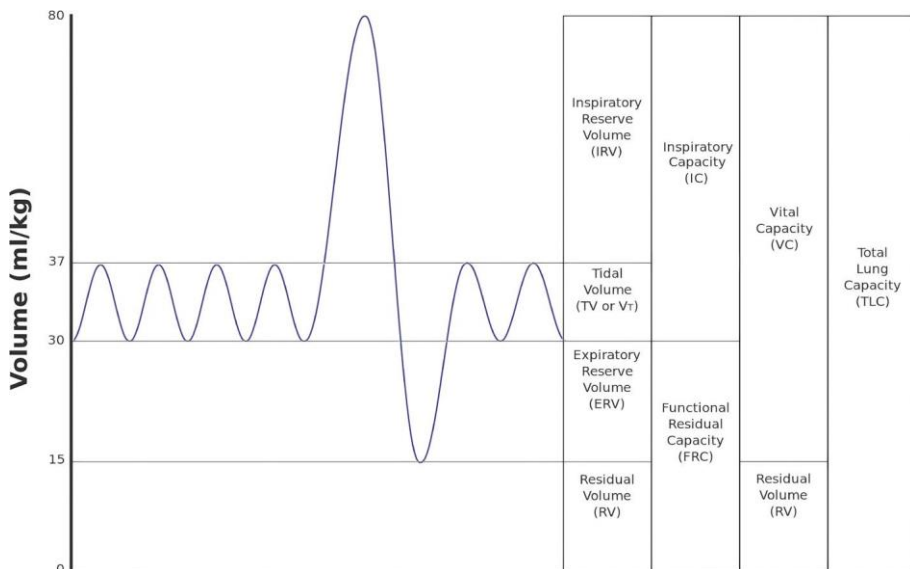


Рис. 3. Плетизмографія. Легеневі об'єми

Основні показники ЛО (рис. 3):

- **ДО (TV)** – об'єм газу (повітря), який вдихається або видихається під час кожного вдиху в спокої;
- **Ровд (IRV)** - об'єм газу (повітря), який можна максимально вдихнути при припливному, спокійному диханні в кінці вдиху;
- **Ровид (ERV)** - об'єм газу (повітря), який максимально видихається після припливного, спокійного дихання в кінці вдиху;
- **ЖЄЛ (VC)** - об'єм газу (повітря), який видихається після повного вдиху до залишкового об'єму та є сумою ДО+Ровид+Ровд;
- **ЗО (RV)** - об'єм газу (повітря) в дихальних шляхах після максимального видиху;

- **ФЗЄ (FRC)** - об'єм газу (повітря) в легенях наприкінці видиху при припливному, спокійному диханні; є сумою РОвид та **ЗО**. Після вимірювання **ФЗЄ** можна розрахувати всі інші показники;
- **ЗЄЛ (TLC)** - об'єм повітря в легенях наприкінці максимального вдиху; є сумою **ЗО** і **ЖЄЛ** або **ФЗЄ** і інспіраторної ємності (**ІЄ/ІС**).

За допомогою плетизмографії окрім **ЛО** можна визначити питомий опір дихальних шляхів (**sRaw**). Опір дихальних шляхів (**Raw**) розраховується як відношення **sRaw** до **ФЗЄ**. **Raw** є мірою обструкції дихальних шляхів і вказує на альвеолярний тиск, необхідний для встановлення швидкості потоку на рівні 1 л/с. Вимірювання базується на тому факті, що для створення повітряного потоку необхідне створення тиску. Маса повітря стискається або розширюється відносно свого рівноважного об'єму, і ця різниця називається «зсув гучності», який можна виміряти через зміну тиску бодікамери [11].

Дифузійна здатність легень (DLCO)

DLCO дає змогу вивчити дифузію газів через альвеолярно-капілярну мембрану та дифузійний бар'єр в цілому. Процес поглинання **CO** відбувається завдяки властивостям перенесення або провідності – мембранна провідність, яка відображає дифузійні властивості альвеолярно-капілярної мембрани та зв'язування **CO** з **Hb**. Обстеження пацієнтів відбувається на обладнанні, яке повинно відповідати технічним стандартам **ERS/ATS** для **DLCO**, за допомогою методу одиночного вдиху з використанням **газоаналізатора (RGA)**. Об'єм **CO** в альвеолярному просторі є добутком альвеолярного об'єму (**VA**) і альвеолярної фракції **CO**. Крім того, за відсутності будь-якого зворотного тиску **CO** у крові перенесення **CO** дорівнює добутку альвеолярного натягу **CO** та **DLCO**, і це провідність **CO** від вдихуваного тестового газу в альвеолярному просторі до зв'язування з **Hb** у крові (тобто потік = тиск × провідність).

ERS рекомендує виражати **DLCO** в одиницях **Cl** (ммоль/хв/кПа), тоді як **ATS** віддає перевагу традиційним одиницям (мл/хв/мм рт. ст.) за стандартної температури, тиску та сухих умов (**STPD**). Значення в одиницях **Cl** треба помножити на **2,987**, щоб отримати значення в традиційних одиницях [12].

DLCO є результатом двох основних вимірювань: **VA** (альвеолярний об'єм) та **KCO** (коефіцієнт передачі **CO**). **VA** розраховують шляхом аналізу зміни концентрації вдихуваного інертного газу, такого як гелій або метан, після його розсіювання в легенях. Різниця між початковою та кінцевою альвеолярними концентраціями **CO** протягом однієї 10-секундної затримки дихання визначає швидкість поглинання **CO** (рис. 4). Кінцеве значення **DLCO** розраховують за рівнянням: **DLCO = VA × KCO** [13].

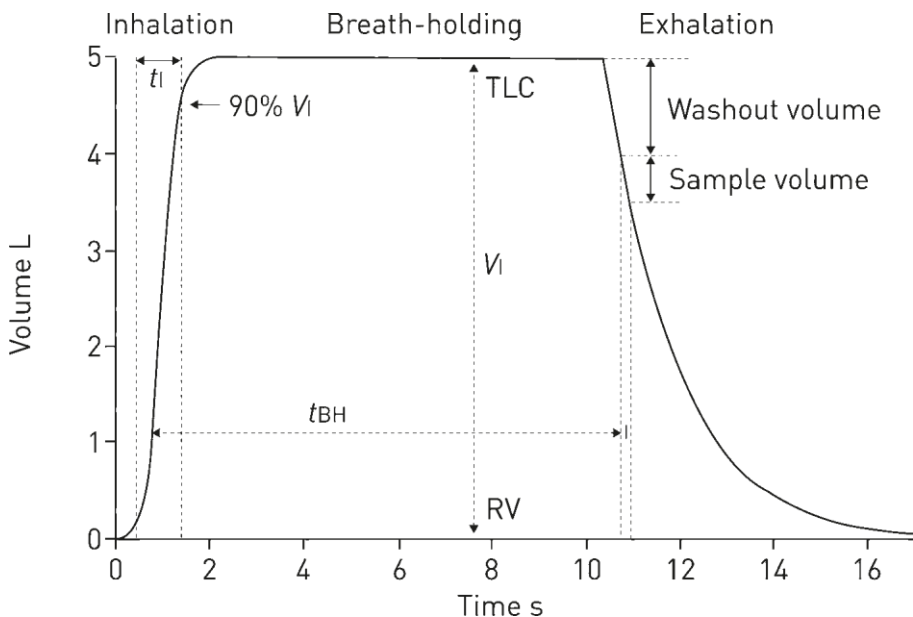


Рис. 4. Схематичне зображення вимірювання часу затримки дихання для **DLCO** [12]

Показник **DLCO** залежить від багатьох факторів, тому для правильної її інтерпретації слід внести спеціальні коригування для **Hb**, **карбоксигемоглобіну** та **FiO₂**. **DLCO** визначають та оцінюють разом зі спірометрією та плетизмографією з визначенням **ЛО**. Критерії прийнятного маневру **DLCO** такі: об'єм вдиху (**VI**) повинен становити 90% або більше від найбільшого показника життєвої ємності (**VC**); пацієнт повинен вдихнути принаймні 85% досліджуваного газу **VI** менш ніж за 4 секунди; розрахований час затримки дихання має становити 10 ± 2 секунди; немає жодних доказів застосування маневру Мюллера чи Вальсальви на основі спостережень за пацієнтом під час маневру та перегляду відстеження тиску рота [13].

Зміни функції легень з часом є важливим показником стану здоров'я легень людини.

У некурців **ОФВ1** зазвичай знижується приблизно на 30 мл на рік. Зміна **ОФВ1** на 10% від вихідного рівня протягом року у здорових людей вважається клінічно значимим показником. Однак зміни **ОФВ1** і **ФЖЄЛ** з плином часу залежать від демографічних характеристик пацієнта, таких як вік, стать та вихідні показники функції легень.

Нормальними показниками ТЛФ є:

- Співвідношення **ОФВ1/ФЖЄЛ >0,70**, а **ОФВ1** та **ФЖЄЛ >80%** від прогнозованого значення при проведенні спірометрії, при зміні яких можна виявити обструктивні та/або рестриктивні вентиляційні розлади (рис. 5).
- **ЗЄЛ >80%** від прогнозованого значення при проведенні плетизмографії.
- **DLCO >75%** від прогнозованого значення при проведенні обстеження дифузійної здатності легень.

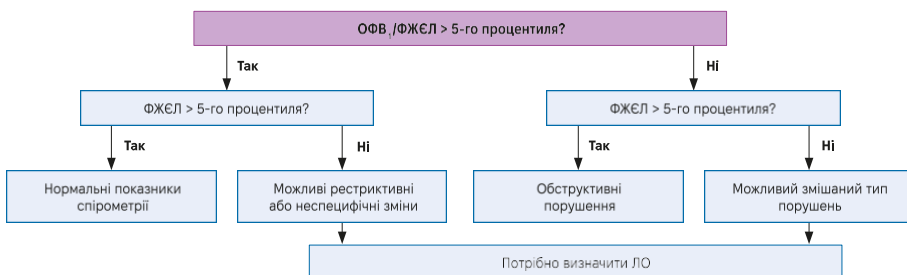


Рис. 5. Алгоритм інтерпретації вентиляційних розладів при проведенні спірометрії [4]

Примітка. Починаючи зі співвідношення ОФВ1/ФЖЄЛ, визначте наявність обструкції на основі того, чи є співвідношення низьким. Якщо є обструкція, оцініть ФЖЄЛ, щоб визначити, чи є просто обструкція, чи може бути супутня рестрикція («змішаний розлад»). Вимірювання ЗЄЛ визначить рестрикцію, тому, якщо ЗЄЛ в межах норми, то є лише обструкція, але якщо ЗЄЛ знижена, то є супутня рестрикція. Якщо ОФВ1/ФЖЄЛ є нормальним, що означає відсутність обструкції, тоді ще раз оцініть ФЖЄЛ. Якщо ФЖЄЛ нор-

мальний, то СМ в нормі, але якщо показник ФЖЄЛ знижений, то можлива рестрикція, і це додакоко повинно бути визначено вимірюванням ЗЄЛ. Якщо ЗЄЛ низька, то СМ відпо-відає рестрикції. Якщо нормальна ЗЄЛ, то це виключає рестрикцію. Модель порушення низької ФЖЄЛ із нормальним ОФВ1 /ФЖЄЛ називається можливою рестрикцією або «не-специфічної» картиною, яка може включати захворювання, що викликають обструкцію або рестрикцію. Рестрикція, що проявляється як неспецифічний патерн, часто спричи-нене ураженням грудної стінки або нервово-м'язовим розладом [4].

Інтерпретація показників ТЛФ має бути чіткою, короткою та ін-формативною, щоб допомогти лікарю зрозуміти, чи результати обстеження є нормальними, чи патологічними, в тому числі при повторному проведенні **ТЛФ**, коли мова йде про виявлення клінічно значущих відхилень. Результати **ТЛФ** повинні допомогти респіра-торному спеціалісту дати відповідь, чи виявлені патологічні зміни пов'язані з респіраторною патологією, чи позалегеневою пато-логією, чи поєднаною патологією внаслідок коморбідного стану.

Патологічні зміни під час ТЛФ класифікують як:

- вентиляційні розлади за обструктивним типом;
- вентиляційні розлади за рестриктивним (обмежувальним) типом;
- вентиляційні розлади за змішаним типом;
- обмеження або порушення газообміну внаслідок зниження дифузійної здатності легень.

Інтерпретація обструктивних вентиляційних розладів за допомогою спірометрії

Обструктивні вентиляційні розлади, або обструкція, - це непропорційне зменшення **ОФВ1** відносно **ФЖЄЛ**, яка може бути витіснена з легень. На практиці співвідношення **ОФВ1/ФЖЄЛ** менше 0,70 свідчить про наявність обструктивних вентиляційних порушень. Однак інші змінні, такі як вік, раса та стать, впливають на порогове значення для оцінки очікуваних результатів **ТЛФ**.

Найбільш ранньою зміною, пов'язаною з обструкцією дихальних шляхів, є уповільнення кінцевої частини спірометрії з увігнутою формою кривої «потік-об'єм», яка має різну форму в залежності від виду та ступеня важкості обструкції дихальних шляхів (рис. 6) [4].

Показник **ОФВ1** традиційно використовують для класифікації тяжкості обструктивних захворювань легень на основі відсотків (%) від прогнозованих значень [3]:

- **ОФВ1 >70%** від прогнозованого - легка обструкція.
- **ОФВ1 60-69%** від прогнозованого - помірна обструкція.
- **ОФВ1 50-59%** від прогнозованого - помірно важка обструкція.
- **ОФВ1 35-49%** від прогнозованого - важка обструкція.
- **ОФВ1 <35%** від прогнозованого - дуже важка обструкція.

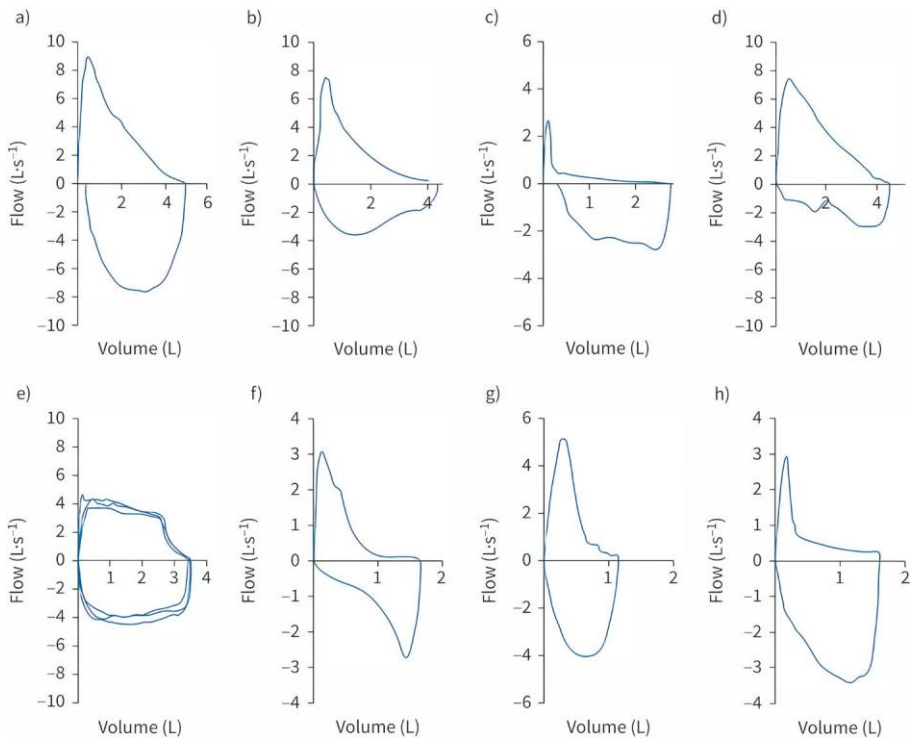


Рис. 6. Типові конфігурації кривої «потік-об'єм» при проведенні спірометрії [4]

Окрема діагностична дилема – обструкція центральних та верхніх дихальних шляхів, поза паренхімою легень. Вона може зачіпати внутрішньогрудні (трахея та головні бронхи) або позагрудні дихальні шляхи (глотка, гортань та позагрудна частина трахеї). Такі стани на ранніх стадіях можуть не призводити до зниження **ОФВ1** та/або **ФЖЄЛ**, але ПШВ може бути значно зниженою. Показники екстраторакальної обструкції або непрохідності наведені у **таблиці 1**.

Таблиця 1. Екстраторакальна та внутрішньогрудна обструкція дихальних шляхів [4]

	Екстраторакальна непрохідність		Внутрішньогрудна непрохідність
	Виправлено	Змінна	
ПШВ	Знижена	Нормальна або знижена	Знижена
ПФВ_{50%}	Знижений	Знижений	Нормальний або знижений
ПФВ_{50%} / МОШ_{50%}	~1	<1	>1

Примітка: ПШВ (PEF) - пікова швидкість видиху; ПФВ (FIF) 50% - потік форсованого вдиху за 50% ФЖЄЛ; МОШ (FEF) 50% - максимальна об'ємна швидкість видиху за 50% ФЖЄЛ.

Інтерпретація рестриктивних вентиляційних розладів за допомогою спірометрії

Рестриктивні вентиляційні розлади, або рестрикція (обмеження), характеризуються нормальним співвідношенням **ОФВ1/ФЖЄЛ** ($>0,70$) зі зниженням **ЗЄЛ** нижче 5-го процентиля або 80% від прогнозованого значення. Їх можна запідозрити, якщо **ФЖЄЛ** знижена менше 80% та **ОФВ1/ФЖЄЛ** підвищений більше 0,70 (див. рисунок 5). Якщо при спірометрії лікар запідозрив рестрикцію, то для підтвердження необхідно проводити плетизмографію, яка є золотим стандартом для діагностики рестриктивних змін. Тяжкість рестрикції базується на прогнозованому значенні **ОФВ1** у відсотках із використанням тієї самої шкали тяжкості, що й для обструкції. Наприклад, у пацієнтів із кіфосколіозом рестриктивний вентиляційний дефект часто виявляється під час **ТЛФ**, де зниження **ЖЄЛ** корелює зі ступенем кіфозу. Вентиляційний дефект проявляється зниженням **ЖЄЛ** і **ЗЄЛ** при збереженому **ЗО** [3].

Інтерпретація вентиляційних розладів змішаного типу за допомогою спірометрії та плетизмографії

Змішаний, або обструктивно-рестриктивний, тип вентиляційних розладів розглядається, коли **ОФВ1/ФЖЄЛ** та **ЗЄЛ** нижчі за 5 процентилів прогнозованих значень або співвідношення **ОФВ1/ФЖЄЛ** менше 0,70 та **ЗЄЛ** менше 80% від прогнозованого значення. Якщо співвідношення **ОФВ1/ФЖЄЛ** є низьким і **ОФВ1** менше 80% від прогнозованого, але **ЗЄЛ** є нормальною, то в пацієнта має місце обструктивний характер змін, а **ФЖЄЛ** знижена через гіперінфляцію. Якщо **ЗЄЛ** знижена, у пацієнта спостерігається змішана обструктивна та рестриктивна картина (**рис. 7**), тому для діагностики змішаного типу вентиляційних порушень також необхідно проводити плетизмографію [3].

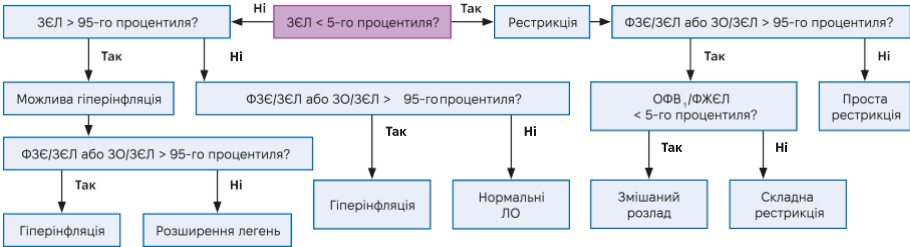


Рис. 7. Алгоритм обструктивно-рестриктивних вентиляційних розладів [4]

Слід розуміти, що на **ЛО** може впливати також ожиріння зі значним зниженням **ФЗЄ/FRC** і **РОВид/ERV** при індексі маси тіла (**ІМТ**) > 30 кг/м². При важкому ожирінні спостерігається як обструктивна, так і рестриктивна вентиляційна недостатність, а **ЗЄЛ/TLC** зазвичай не зменшується, поки **ІМТ** не перевищує 40 кг/м². Подібні зміни **ЛО** можуть спостерігатись і у вагітних, тому результати визначення **ЛО** потрібно інтерпретувати обережно як під час вагітності, так і в післяпологовий період [4].

Інтерпретація змін легеневих об'ємів за допомогою плетизмографії

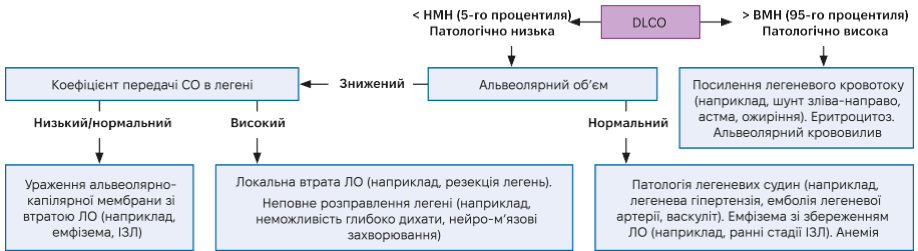
Спірометрія не дає повної картини вентиляційних порушень, тому для її підтвердження необхідно визначати **ЛО** за допомогою плетизмографії. Збільшення **ЗО** або **ЗО/ЗЄЛ (RV/TLC)** вище 95-го перцентиля може свідчити про гіперінфляцію або затримку повітря через наявну обструкцію дихальних шляхів. Одним із найперших проявів захворювання дрібних (дистальних відділів) дихальних шляхів є збільшення **ЗО** або **ЗО/ЗЄЛ** внаслідок обструкції дихальних шляхів із затримкою повітря. Прогресування гіперінфляції легень супроводжується збільшенням **ФЗЄ** або **ФЗЄ/ЗЄЛ (FRC/TLC)** із частим збільшенням **ЗЄЛ** та зниженням **ІЄ(ІС)**, що є характерною ознакою **ХОЗЛ** і тісно пов'язане зі зниженою толерантністю до фізичного навантаження та задишкою.

Слід зауважити, що підвищення **ЗО/ЗЄЛ (RV/TLC)** також може спостерігатися при м'язевій слабкості або субоптимальному зусиллі при деяких рестриктивних процесах, коли **ЗЄЛ** знижується пропорційно більше, ніж **ЗО**. Зменшення **ЛО** визначає рестриктивні порушення вентиляції та класично характеризується зниженням **ЗЄЛ** нижче **НМН** (5-й перцентиль), тому визначення **ЗЄЛ** є золотим стандартом діагностики рестриктивних захворювань легень. **ЗЄЛ** <80% свідчить про порушення вентиляції за рестриктивним типом [3, 4, 11]. Зміни **ЛО** за різних патологічних станів наведені в таблиці 2 [4].

Таблиця 2. Зміни ЛО при різних патологічних станах [4]

	ЗЄЛ	ФЗЄ	ЗО	ФЗЄ/ ЗЄЛ	ЗО/ ЗЄЛ	Коментарі
Великі легені	↑	↑	↑	N	N	Нормальний варіант вище ВМН
Обструкція	N/ ↑	N/ ↑	↑	N/ ↑	↑	Гіперінфляція, якщо ФЗЄ/ЗЄЛ і ЗО/ЗЄЛ підвищені; уловлювання газу, якщо підвищений лише ЗО/ЗЄЛ (наприклад, ХОЗЛ)
Проста рестрикція	↓	↓	↓	N	N	Наприклад, ІЗЛ
Комплексне обмеження	↓	↓	N/ ↑	N	↑	Коли ОФВ1/ФЖЄЛ нормальне, комплекс відноситься до процесу, що сприяє обмежувальному процесу, який непропорційно знижує ФЖЄЛ відносно ЗЄЛ (наприклад, захворювання малих дихальних шляхів із затримкою газу та ожирінням)
Змішаний розлад	↓	N/ ↑	N/ ↑	N/ ↑	N/ ↑	Як правило, ОФВ1/ФЖЄЛ знижене (наприклад, поєднання ІЗЛ та ХОЗЛ)
М'язова слабкість	↓	N/ ↑	↑	↑	↑	Коли зусилля видається достатнім; ЗЄЛ знижена, особливо при слабкості діафрагми; ЗО збільшується, особливо при слабкості м'язів видиху
Неоптимальні зусилля	↓	N	↑	↑	↑	Особливо, коли зусиль виявляється недостатньо
Ожиріння	N/ ↓	↓	N/ ↑	N/ ↓	N/ ↑	РОвид низький; знижена ЗЄЛ при дуже високому ІМТ (>40 кг/м ²)
N — Нормальний						

Інтерпретація результатів визначення DLCO (рис. 8)



Примітка. Спочатку визначте, чи є DLCO низькою або високою на основі НМН та ВМН, контрольних значень, встановлених на рівні 5-го і 95-го процентиля відповідно. Висока DLCO майже завжди зумовлена збільшенням легеневого кровотоку, як при шунтуванні зліва направо, підвищенням вмісту Нв при еритроцитозі або вільного Нв у будь-якому компоненті дихальних шляхів, як при альвеолярному крововиливі. Щоб зрозуміти причину низької DLCO, дослідіть її компоненти, альвеолярний об'єм (VA) і коефіцієнт передачі CO в легені (KCO). Якщо VA нормальний, то це від- повідає легеневій судинній недостатності, емфіземі зі збереженням ЛО або анемії. Якщо VA низький, а KCO низький або нормальний, тоді зазвичай спостерігається втрата альвеолярної капілярної структури, наприклад, при емфіземі або ІЗЛ із втратою ЛО. Якщо VA низький, а KCO високий, це означає, що ЛО низький або через локальну втрату об'єму легень (наприклад, резекція легень), що може дещо підвищити KCO, або через неповне розправлення легень внаслідок обмеження вдиху, що може значно збільшити KCO [4].

Рис. 8. Інтерпретація DLCO [4]

Будь-який патологічний стан, за якого зменшується поглинання O_2 , призводить до аналогічного зниження поглинання CO під час проведення DLCO. DLCO є непрямим показником здатності легень переносити O_2 у кров, використовуючи CO, який сильніше за O_2 зв'язується з Нв. DLCO нижче діапазону 75-140% від прогнозованого значення вказує на основну патологію, яка призводить до порушення DL на рівні дифузійного бар'єра.

DLCO допомагає оцінити стан пацієнтів із задишкою, гіпоксемією, емфіземою та інтерстиційними захворюваннями легень (ІЗЛ) та служить раннім індикатором таких станів, як ідіопатичний легеневий фіброз (ІЛФ) до того, як можна буде виявити зміни на спірометрії, що допомагає клініцисту відстежувати прогресування захворювання та аналізувати відповідь на терапію і прогнозувати смертність (у пацієнтів з ІЛФ зниження DLCO на 15% або більше

протягом 1 року збільшує ризик смерті втричі до кінця 5-го року, де **DLCO** є сильнішим предиктором смертності, ніж **ФЖЄЛ**) [13].

У разі легеневих захворювань показаннями до **трансплантації легень (ТЛ)** є перелік чітких критеріїв, які спираються на фактори, що впливають на прогноз при кожному конкретному захворюванні. **DLCO** <40% від прогнозованого значення пов'язана зі збільшенням смертності, що має спонукати респіраторного спеціаліста до активних терапевтичних заходів на основі отриманих результатів **ТЛФ**, тому серед рекомендованих ERS-критеріїв **DLCO** ≤40% від прогнозованого зі зниженням показника **DLCO** на ≥15% під час тесту з 6-хвилинною ходьбою є показанням до **ТЛ** [13, 14].

DLCO також слугує предиктором післяопераційних ускладнень у пацієнтів, яким проводять резекцію легень з приводу раку легень і операцію зі зменшення об'єму легень. Низька **DLCO** означає вищий ризик захворюваності та смертності після резекції легень з приводу раку легень. Крім того, дослідження показують, що **DLCO** <20% є суттєвим предиктором поганих результатів після операції зі зменшення **ЛО**.

DLCO <50% від прогнозованого значення вказує на високий ризик десатурації киснем під час навантаження, що робить визначення **DLCO** корисним інструментом скринінгу в пацієнтів із задишкою під час навантаження [13]. Показник **DLCO** залежить від багатьох факторів (табл. 2, 3) і має регулюватися, тому для правильної інтерпретації слід проводити спеціальні коригування за **Нв**, **карбоксигемоглобіном** та **FiO2**. Важливо розуміти, що визначення **DLCO** проводять та інтерпретують разом із спірометрією та плевтизмографією після визначення **ЛО** [13], що разом утворюють діагностичну тріаду **ТЛФ**.

Таблиця 3. Фактори та захворювання, які впливають на показник **DLCO** [2, 13]

Збільшення DLCO	Зниження DLCO
<ul style="list-style-type: none"> • При збільшенні розмірів тіла, ожирінні, збільшенні об'єму легень, альвеолярного PCO₂; висота (наприклад, гірська хвороба) • У віці до 20 років, у чоловіків, в положенні лежачи, при фізичному навантаженні • Геморагія легень, легенева кровотеча, поліцитемія • Бронхіальна астма, застосування бронходилататорів • Серцевий шунт зліва направо • Маневр Мюллера • Легка серцева недостатність лівих відділів серця внаслідок збільшення об'єму легеневої капілярної крові 	<ul style="list-style-type: none"> • Стани з нормальним об'ємом легень: анемія, захворювання легеневих судин, початкові стадії ІЗЛ та маневр Вальсальви • Патології з обструкцією та низькою DLCO, супутньою рестрикцією або без неї: бронхіоліт, муковісцидоз, дефіцит 1-антитрипсину, емфізема • ІЗЛ у пацієнтів із ХОЗЛ, саркоїдоз, лімфангіолейоміоматоз та комбінований фіброз легень та емфізема • Розлади з рестрикцією і зниженою DLCO: ІЗЛ та пневмонія • Захворювання з рестрикцією та нормальною DLCO: ймовірна позалегенева причина, наприклад, плевральний випіт, потовщення плеври, нервово-м'язова слабкість або кіфосколиоз • Стани з низькою DLCO, але з нормальними показниками спірометрії: захворювання легеневих судин, початкові стадії ІЗЛ, анемія, гепатопульмональний синдром і підвищений рівень карбоксигемоглобіну (COHb) через куріння сигарет • Інше: додатковий кисень

Спірометрія з плетизмографією та визначенням дифузійної здатності легень (**DLCO**) повинна бути рутинною діагностичною процедурою в практиці лікаря-пульмонолога експертного рівня, саме тому ми маємо змінити парадигму мислення щодо терміну «функція зовнішнього дихання», замінивши його на «тестування легеневої функції», яке передбачає не лише проведення спірометрії.

З 2024 року в Україні зареєстрована інноваційна мобільна спірометрична система PulmOne з безкабінною плетизмографією та визначенням **DLCO** для проведення **ТЛФ** у дітей та дорослих, за допомогою якої можна визначити стан дихальної системи згідно з рекомендаціями **ERS/ATS**.

Література

1. **Human Physiology / R. F. Schmidt and G. Thews** - Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1983. - 743 pages. DOI: 10.1007/978-3-642-96714-6.
2. **Pulmonary pathophysiology / Michael A. Grippi; with 11 additional contributors.** - Lippincott, Philadelphia, 1995. - 337 pages.
3. **Ponce MC, Sankari A, Sharma S.** — Pulmonary Function Tests. Updated 2023 Aug 28. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2024 Jan-. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK482339>.
4. **Sanja Stanojevic et al.** ERS/ATS technical standard on interpretive strategies for routine lung function tests. / *Eur Respir J*. 2022 Jul 13;60(1):2101499. doi: 10.1183/13993003.01499-2021
5. **Moore V. C.** Spirometry: step by step/*Breathe* 2012 8(3): 232-240; DOI: <https://doi.org/10.1183/20734735.0021711>
6. **Brian L. Graham et al.** 2017 ERS/ATS standards for single-breath carbon monoxide uptake in the lung/*European Respiratory Journal* 2017 49(1): 1600016; DOI: <https://doi.org/10.1183/13993003.00016-2016>
7. **Miller M.R. et al.** Standardization of Spirometry. / *Eur Respir J* 2005; 26: 319-338; 2017 ERS/ATS standards for single-breath carbon monoxide uptake in the lung. Brian L. Graham et al. / *Eur Respir J* 2017; 49: 16E0016
8. **Respiratory Muscle Testing at Rest and during Exercise.** *Eur Respir J* 2019; in press (<https://doi.org/10.1183/13993003.01214-2018>)
9. **Thomas Glaab et al.** Practical guide to cardiopulmonary exercise testing in adults. *Respir Res*. 2022 Jan 12;23(1):9. doi: 10.1186/s12931-021-01895-6.
10. **Derek Tran.** Cardiopulmonary Exercise Testing. *Methods Mol Biol*.2018:1735:285-295. doi: 10.1007/978-1-4939-7614-0-18.

11. **Criée C. P. et al.** Body plethysmography - its principles and clinical use/ **Respir Med.** 2011 Jul;105(7):959-71.doi: 10.1016/j.rmed.2011.02.006.
12. **Brian L. Graham et al.** 2017 ERS/ATS standards for single-breath carbon monoxide uptake in the lung/European Respiratory Journal 2017 49(1): 1600016; DOI: <https://doi.org/10.1183/13993003.00016-2016>
13. **MModi P, Cascella M.** Diffusing Capacity of the Lungs for Carbon Monoxide. [Updated 2023 Mar 13]. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2024 Jan-. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK556149>
14. **Yakovenko O et al.** Modern pulmonology by practitioner's view (according to the materials of the European Respiratory Society, 2016 (London, UK)/... .2016 Алергологія та імунологія...

Pulmonary function testing as one of the main diagnostic tools of a respiratory specialist.

Guidelines of the European Respiratory Society (ERS) and the American Thoracic Society (ATS)

Abstract

The diagnosis of respiratory pathology and other respiratory disorders involves determining ventilation and diffusion capacity of the lungs using pulmonary function testing (PFT). Pulmonary function testing reflects the physiological characteristics of the lungs – airflow mechanisms, volumes and gas transfer, which in turn allows the respiratory specialist to assess the patient's respiratory function in many clinical situations in the presence of respiratory symptoms and risk factors for lung disease. Guidelines for the performance and interpretation of PFT results are regularly developed and updated by an international joint working group of the European Respiratory Society (ERS) and the American Thoracic Society (ATS).

The Global Lung Function Initiative (**GLI**) reference equations are used to determine the expected range of values for Pulmonary Function in healthy individuals. The diagnostic triad of Pulmonary Function according to the **ERS/ATS** guidelines includes spirometry, plethysmography and diffusion capacity of the lungs (**DLCO**).

Normal parameters of pulmonary function are a FEV1/FVC ratio >0.70 with FEV1 and FVC $>80\%$ of the predicted value, total lung capacity (TLC) $>80\%$ of the predicted value, and **DLCO** $>75\%$ of the predicted value. Pathological changes in PFT are classified as ventilatory disorders of obstructive, restrictive, or mixed (obstructive-restrictive) type, as well as mixed type and **DLCO** disorders. The severity of obstructive

and restrictive changes is determined by FEV1 as a percentage of the predicted value, using a severity scale based on spirometry.

Spirometry does not provide a complete picture of ventilatory disorders, so to confirm mixed or restrictive disorders, it is necessary to determine lung volumes using plethysmography. Plethysmography makes it possible to detect hyperinflation and, with an FEV1 <80%, to objectively speak of restrictive ventilation disorders. **DLCO** helps to assess the condition of patients with dyspnoea, hypoxaemia, emphysema and interstitial lung disease (ILD). A **DLCO** <40% of the predicted value is associated with increased mortality, so among the recommended ERS criteria, a **DLCO** \leq 40% of the predicted value with a decrease in **DLCO** by \geq 15% during the 6-minute walk test is an indication for lung transplantation.

Since 2024, an innovative mobile spirometric system 'PulmOne' with cabinless plethysmography and **DLCO** determination for pulmonary function testing in children and adults has been registered in Ukraine, which can assess the state of the respiratory system in accordance with **ERS/ATS** recommendations.

Key words: breathing, respiratory disorders, pulmonary function tests, spirometry, plethysmography, diffusion capacity of the lungs (**DLCO**).

Яковенко Олег Костянтинович

Тестування легеневої функції (спірометрія, плетизмографія, дифузія газів по DLCO)

методичні рекомендації
до лабораторних занять здобувачів

галузі знань 22 Охорона здоров'я,
спеціальності 222 Медицина,
освітньої програми Медицина

Видання друкується в авторській редакції

