

Bożena Ziółkowska-Graca

Received: 11.10.2013

Accepted: 06.11.2013

Published: 31.12.2013

## **Spirometria praktycznie – jak wykorzystać badania spirometryczne w diagnostyce i leczeniu chorób dróg oddechowych?**

Practical spirometry – how to use it in diagnosis and treatment of respiratory diseases?

Klinika Pulmonologii, II Katedra Chorób Wewnętrznych UJ Collegium Medicum w Krakowie.

Kierownik Kliniki: prof. dr hab. n. med. Krzysztof Śladek

Adres do korespondencji: Dr n. med. Bożena Ziółkowska-Graca, Klinika Pulmonologii, II Katedra Chorób Wewnętrznych UJ Collegium Medicum w Krakowie, ul. Skawińska 8, 31-066 Kraków, tel.: 12 430 51 47

*Praca finansowana ze środków własnych*

### **Streszczenie**

Badanie spirometryczne jest jednym z podstawowych badań dodatkowych, jakie powinni wykonywać lekarz rodzinny i inni lekarze podstawowej opieki zdrowotnej. Służy do oceny sprawności wentylacyjnej układu oddechowego. Mierzy składowe objętości powietrza w płucach oraz szybkość przepływu powietrza przez drogi oddechowe podczas wdechu i wydechu. Wzajemne stosunki przepływu i objętości określają prawidłowość lub odchylenia od normy w czynności wentylacyjnej płuc. Badanie spirometryczne jest niezbędnym warunkiem rozpoznawania, monitorowania i oceny przebiegu leczenia oraz przewidywania dalszego rokowania wielu chorób układu oddechowego, w tym bardzo często występujących chorób płuc, tj. przewlekłej obturacyjnej choroby płuc i astmy oskrzelowej. Bezwzględne przeciwwskazania do wykonania spirometrii to m.in.: obecność tętniaka aorty i tętnic mózgowych, przebyte odwarstwienie siatkówki lub niedawna operacja okulistyczna, krwioplucie o nieznannej etiologii, odma opłucnowa (1 miesiąc wcześniej), świeży zawał serca, świeży udar mózgu. Nie ma natomiast ograniczeń wiekowych, warunkiem jest jednak umiejętność koordynacji wdechu i wydechu, a tym samym podjęcie w tym zakresie współpracy badanego z osobą wykonującą spirometrię. Spirometr to urządzenie pomiarowe wykorzystywane do badania pojemności i objętości płuc. Rejestruje ilość, prędkość przepływu i ciśnienie powietrza wdychanego i wydychanego w zadanym czasie. Mierzona szybkość przepływu powietrza zamieniana jest na objętość. Wbudowany w spirometr program wylicza zmienne spirometryczne i odnosi je do norm. W praktyce medycznej wykonuje się tzw. spirometrię podstawową oraz spirometrię po inhalacji leku rozkurczającego oskrzela (określaną jako „spirometria z oceną odwracalności obturacji”). Poprawnie wykonane badanie powinno zawierać przynajmniej 3 akceptowalne pomiary FVC. Oprócz tego w spirometrii jest manewr nasilonego wydechu. Składa się on z trzech następujących po sobie faz: maksymalnego szybkiego wdechu, gwałtownego początku wydechu i płynnego długiego dokończenia wydechu. Podstawowe typy zaburzeń wentylacji występujące w chorobach układu oddechowego to typ obturacyjny i typ restrykcyjny.

**Słowa kluczowe:** spirometria, spirometr, pojemności i objętości płuc, typy zaburzeń wentylacyjnych

### **Summary**

Spirometry is one of the basic additional examinations which should be performed by the family doctor and other physicians of primary care. It is used to assess ventilation of the respiratory system. It measures the amount of air in the lungs and the velocity of its flow through the airways during inspiration and expiration. Reciprocal relationship between flow and volume determine whether lung function is normal or whether there are certain anomalies. Spirometry is the essential tool in diagnosis, monitoring and treatment assessment as well as establishing prognosis of numerous respiratory disorders including common lung diseases i.e. chronic obstructive pulmonary disease and bronchial asthma. Absolute contraindications to spirometry include: aneurysms of the aorta and cerebral arteries, history of retinal detachment or recent ophthalmological surgery, haemoptysis with unknown aetiology, pneumothorax (one month before) and recent myocardial infarction or recent stroke. There are no age limitations. However, the condition necessary for performing spirometry is the ability to coordinate inspiration and expiration and thus, cooperation of the patient with the health care professional who conducts the examination. A spirometer is a measuring device used to examine lung capacity and volume. It registers the amount, flow and pressure of inhaled and exhaled air in a given time. The measured air flow velocity is changed into volume. The programme, which is built in the spirometer, calculates spirometric variables and compares them with standard values. Medical practitioners use

so-called basic spirometry and spirometry performed after administration of a bronchodilator, a post BD test (referred to as “a spirometry to assess the reversibility of obturation”). A correctly performed test should include at least 3 acceptable FVC measurements. Apart from this, spirometry also includes a forced expiratory manoeuvre. It consists of three subsequent phases: maximal fast inspiration, abrupt beginning of expiration and subsequent smooth and long expiration. The basic types of ventilation disorders in respiratory diseases are: obstructive and restrictive ones.

Key words: spirometry, spirometer, lung capacity and volume, ventilation disorder types

## WSTĘP

**B**adanie spirometryczne jest jednym z podstawowych badań dodatkowych, jakie powinien wykonywać lekarz rodzinny i inni lekarze podstawowej opieki zdrowotnej. Podstawową funkcją układu oddechowego jest zapewnienie prawidłowego utlenowania krwi tętniczej i usuwanie dwutlenku węgla.

Zadanie to jest realizowane dzięki:

1. wentylacji – zapewniającej stały skład gazów w pęcherzykach płucnych;
2. perfuzji – „obmywaniu” pęcherzyka płucnego przez utlenowaną krew;
3. dyfuzji – czyli właściwej wymianie gazowej.

Badanie spirometryczne służy do oceny sprawności wentylacyjnej układu oddechowego, czyli tylko jednej z trzech składowych, od których zależy prawidłowa funkcja płuc. Mierzy składowe objętości powietrza w płucach oraz szybkość przepływu powietrza przez drogi oddechowe podczas wdechu i wydechu. Wzajemne stosunki przepływu i objętości określają prawidłowość lub odchylenia od normy w czynności wentylacyjnej płuc. Badanie spirometryczne jest niezbędnym warunkiem rozpoznawania, monitorowania i oceny przebiegu leczenia oraz przewidywania dalszego rokowania wielu chorób układu oddechowego, w tym bardzo często występujących chorób płuc, tj. przewlekłej obturacyjnej choroby płuc i astmy oskrzelowej.

Spirometr – jest to urządzenie pomiarowe wykorzystywane do badania pojemności i objętości płuc. Rejestruje ilość, prędkość i ciśnienie powietrza wdychanego i wydychanego w zadanym czasie. Mierzona szybkość przepływu powietrza zamieniana jest na objętość. Wbudowany w spirometr program wylicza zmienne spirometryczne i odnosi je do norm. Spirometr rysuje wykresy:

- objętość/czas
- przepływ/objętość.

### Wskazania do badania spirometrycznego

Ocena czynności układu oddechowego:

- u osób z objawami chorobowymi;
- u osób z czynnikami ryzyka (palenie tytoniu, narażenie na czynniki toksyczne, np. w miejscu pracy) – badania przesiewowe i monitorowanie wpływu narażenia;
- w chorobach układu oddechowego – rozpoznanie, monitorowanie przebiegu, ocena skuteczności leczenia;
- u osób po przeszczepie płuc lub innego narządu;

- u osób otrzymujących leczenie potencjalnie uszkadzające układ oddechowy;
- w ramach ryzyka operacyjnego;
- w orzecznictwie;
- w badaniach epidemiologicznych.

### Przeciwwskazania do badania spirometrycznego

Przeciwwskazania bezwzględne (związane ze znacznym wzrostem ciśnienia w klatce piersiowej):

1. obecność tętniaka aorty i tętnic mózgowych;
2. przebyte odwarstwienie siatkówki lub niedawna operacja okulistyczna (1 miesiąc wcześniej);
3. zwiększone ciśnienie wewnątrzczaszkowe;
4. krwiotłucie o nieznannej etiologii;
5. odma opłucnowa (1 miesiąc wcześniej);
6. świeży zawał serca;
7. świeży udar mózgu.

Względne przeciwwskazania do badania spirometrycznego:

1. stany podważające wiarygodność badania (np. uporczywy kaszel);
2. stan bezpośrednio po operacji w obrębie jamy brzusznej lub klatki piersiowej (uniemożliwiający prawidłowe wykonanie manewrów oddechowych w czasie badania);
3. wysiłkowe nietrzymanie moczu;
4. demencja.

## TECHNIKA TECHNIKI BADANIA SPIROMETRYCZNEGO

### Zasady przygotowania do badania spirometrycznego

Przed badaniem należy unikać:

- palenia tytoniu co najmniej przez **1 godzinę**;
- spożywania alkoholu co najmniej przez **4 godziny**;
- wysiłku fizycznego przez **30 minut**;
- dużego posiłku przynajmniej przez **2 godziny** przed próbą.

Przed badaniem, jeżeli jest to możliwe, należy odstawić:

- **na 8 godzin** – wziewne krótko działające  $\beta_2$ -mimetyki i cholinolityki krótko działające;
- **na 12 godzin** – krótko działające: teofilinę, doustne  $\beta_2$ -mimetyki krótko działające;
- **na 24 godziny** – długo działające  $\beta_2$ -mimetyki wziewne i doustne, teofilinę o przedłużonym działaniu (*retard*), leki antyleukotrienowe;
- **na 48 godzin** – teofilinę o przedłużonym działaniu (*long*);
- **na 7 dni** – tiotropium.

### Warunki wykonania badania

- Pomiar masy ciała w ubraniu, bez butów.
- Pomiar wzrostu, bez butów.
- Jeśli osoba badana nie może przyjąć pozycji stojącej, mierzymy odległość między końcami palców rozciągniętych ramion ( $d$ ). W ten pośredni sposób oceniamy wzrost badanego ( $h$ ). Dla kobiet stosujemy wzór:  $h = d/1,01$ , dla mężczyzn  $h = d/1,03$ .

### Przygotowanie spirometru do badania

Przed badaniem należy sprawdzić, czy spirometr funkcjonuje prawidłowo, oraz ocenić, czy spełnione zostały warunki umożliwiające otrzymanie pomiaru o optymalnej jakości. W tym celu należy przeprowadzić (jeżeli aparat tego wymaga):

1. kontrolę warunków zewnętrznych (ciśnienie barometryczne, wilgotność, temperatura);
2. kontrolę prawidłowego funkcjonowania modułów – codziennie;
3. kontrolę szczelności układu połączeń;
4. test kalibracji – z użyciem trzylitrowej strzykawki kalibracyjnej z różnymi prędkościami tłoka – zgodnie z zaleceniem producenta.

Wyróżniamy spirometry, które wymagają codziennej kalibracji, i takie, które jej nie wymagają.

Spirometr, który nie wymaga codziennej kalibracji, kalibruje się samoczynnie, wysyłając kontrolnie wiązkę fal ultradźwiękowych przy każdym uruchomieniu oraz przed każdym badaniem.

Nie wymaga kontroli pompą kalibracyjną, choć można taką kalibrację kontrolnie wykonać.

**Przed rozpoczęciem badania chory powinien zostać poinstruowany co do zasad jego wykonywania i przebiegu. Osoba wykonująca badanie powinna zademonstrować sposób jego wykonania.**

Takie postępowanie zwiększa dokładność wyników oraz ogranicza liczbę powtórzeń niezbędnych do uzyskania wiarygodnych danych. Badanie powinno być wykonywane w pozycji siedzącej. Badany powinien mieć swobodę ruchu, ubranie nie powinno krępować ciała. Należy zadbać o to, by ustnik został prawidłowo umieszczony w jamie ustnej, powietrze nie uciekało pomiędzy wargami i ustnikiem. Oddychaniu przez nos zapobiega się poprzez założenie specjalnego klipsa. Nie zawsze jednak istnieje konieczność jego stosowania. W czasie badania należy cały czas obserwować i nadzorować sposób jego wykonywania. Przed rozpoczęciem właściwego pomiaru wskazane jest, by osoba badana przez chwilę swobodnie oddychała przez ustnik, przyzwyczajając się do niego. Po kilku spokojnych oddechach (rejestracja objętości oddechowej – TV) należy wykonać powolny maksymalny wdech, a następnie powolny maksymalny (rejestracja pojemności życiowej – VC) lub tylko gwałtowny wydech (rejestracja natężonej pojemności życiowej – FVC i natężonej objętości wydechowej pierwszosekundowej – FEV<sub>1</sub>).

Wynik spirometrii zależy od:

- stanu czynnościowego płuc;
- kompetencji badającego;

- umiejętności badanego i jego chęci wykonania testu;
- właściwego instruktażu i wymuszenia prawidłowego wykonania przez prowadzącego badanie;
- jakości sprzętu.

### Spirometria podstawowa – pomiar statyczny

Objętości i pojemności statyczne są mierzone podczas powoli i dokładnie wykonywanych manewrów oddechowych. Badanie to pozwala na ocenę pomiaru pojemności życiowej VC i jej składowych: TV, IRV, ERV, IC (rys. 1).

#### Definicje objętości i pojemności płuc

**TV (tidal volume)** – objętość oddechowa; objętość powietrza wdychana do płuc i wydychana w czasie cyklu oddechowego.

**ERV (expiratory reserve volume)** – zapasowa objętość wydechowa; objętość powietrza, którą możemy maksymalnie wydmuchać z poziomu zakończenia spokojnego wydechu.

**IRV (inspiratory reserve volume)** – zapasowa objętość wdechowa; maksymalna objętość powietrza, którą możemy wciągnąć do płuc z poziomu zakończenia spokojnego wdechu.

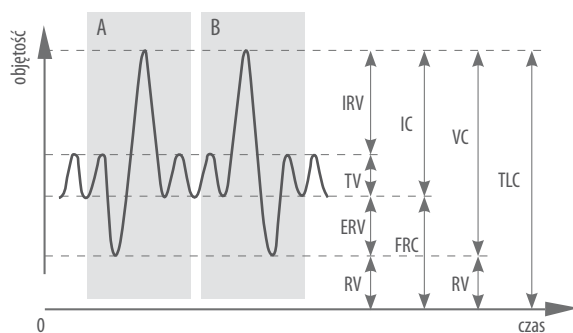
**IC (inspiratory capacity)** – pojemność wdechowa; jest to objętość powietrza wprowadzonego do płuc od poziomu spokojnego wydechu do poziomu maksymalnego wdechu. Odpowiada sumie objętości oddechowej i zapasowej objętości wdechowej.

**VC (vital capacity)** – pojemność życiowa; jest to objętość powietrza, jaką można wprowadzić do płuc od poziomu maksymalnego wydechu do poziomu maksymalnego wdechu. Jest sumą ERV, TV i IRV.

**VC<sub>max</sub> (maximal vital capacity)** – maksymalna pojemność życiowa uzyskana w czasie pomiaru.

**RV (residual volume)** – objętość zalegająca; objętość powietrza, która pozostaje w płucach i drogach oddechowych po zakończeniu pełnego wydechu.

**FRC (functional residual capacity)** – czynnościowa objętość zalegająca; objętość powietrza, która pozostaje w płucach i drogach oddechowych po zakończeniu spokojnego wydechu.



Rys. 1. Spirometria podstawowa – pomiar statyczny

Do oceny RV i FRC służy bodypletyzmografia, w badaniu spirometrycznym bowiem nie można ocenić tych wartości.

**Pomiar dynamiczny** to objętości i pojemności płuc uzyskiwane podczas manewrów oddechowych szybkich i nasilonych. Rejestracja manewru natężonego wdechu/wydechu umożliwiającego rejestrację krzywej maksymalny przepływ/objętość oraz wartości z nią związanych.

W zależności od potrzeby i rodzaju spirometru badanie może dotyczyć tylko samego natężonego wydechu lub może być połączone z zapisem krzywej maksymalnego wdechu, co pozwala na rejestrację pełnej krzywej przepływ/objętość.

**Technika wykonania badania**

Jeśli wykonujemy badanie aparatem ultradźwiękowym, jego technika jest znacznie uproszczona: badany wykonuje głęboki maksymalny wdech, po którym powinien nastąpić możliwie najszybszy maksymalny wydech.

Wykonując badanie innym aparatem (np. pneumatych), badany powinien najpierw wykonać wolny maksymalny wydech, po którym musi nastąpić możliwie najszybszy maksymalny wdech. Następnie polecamy badanemu wykonanie maksymalnie najgłębszego i szybkiego wydechu i kontynuowanie go możliwie jak najdłużej.

Czas trwania wydechu powinien wynosić przynajmniej 6 sekund. Badanie można zakończyć po wykonaniu 3 poprawnych testów. Nie powinno się podejmować więcej niż 8 prób, ponieważ ze względu na zmęczenie badanego ich rzeczywista wartość będzie wątpliwa.

**Objętości i przepływy natężone**

**FVC (forced vital capacity)** – natężona pojemność życiowa; objętość powietrza wydychanego podczas maksymalnie forsownego wydechu następującego po najgłębszym wdechu. Wartość ta zależy od pojemności płuc, od stopnia zwężenia oskrzeli (obturacyj) wskutek skurczu lub nagromadzenia wydzieliny (obturacyja oskrzelowopochodna) oraz od samej wiotkości oskrzeli i tkanki płucnej, jak to bywa w rozedmie (obturacyja płucnopochodna).

**FEV<sub>1</sub> (forced expiratory volume in one sec)** – natężona objętość wydechowa pierwszosekundowa; objętość powietrza wydychanego w pierwszej sekundzie natężonego wydechu.

**Wskaźnik FEV<sub>1</sub>/FVC** – stosunek objętości wydychanej podczas pierwszej sekundy forsownego wydechu (FEV<sub>1</sub>) do natężonej pojemności życiowej płuc (FVC).

**PEF (peak expiratory flow)** – szczytowy przepływ wydechowy zarejestrowany w trakcie badania maksymalnie natężonego wydechu.

**FET (forced expiratory time)** – czas trwania natężonego wydechu (od ekstrapolowanego czasu rozpoczęcia wydechu do czasu zakończenia wydechu, przy spełnieniu kryteriów zakończenia wydechu).

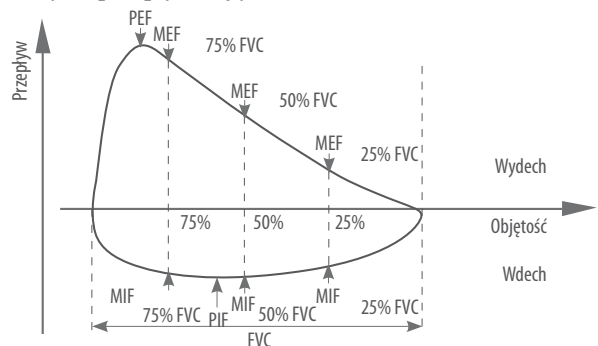
**tPEF (time to PEF)** – czas potrzebny do osiągnięcia szczytowego przepływu wydechowego.

**BEV (back extrapolated volume)** – objętość powietrza ekstrapolowana; objętość wydechowa w początkowej fazie wydechu, od której mierzone są pomiary wydechu, dla których istotny jest czas.

W czasie forsownego wydechu spirometr kreśli dwie krzywe:

- krzywą przepływ/objętość;
- krzywą objętość/czas.

**Krzywa przepływ/objętość**

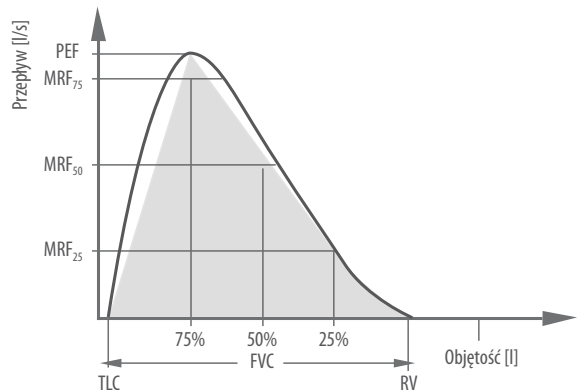


Rys. 2. Pełny wykres krzywej przepływ/objętość – zarejestrowana faza wdechowa i wydechowa badania

Główną zaletą wykresu jest możliwość oceny jakości badania i rodzaju zaburzeń.

Śledząc wykonywane badanie spirometryczne, należy zwrócić baczną uwagę na poprawność techniczną krzywej. Prawidłowa krzywa ma kształt trójkąta (rys. 3).

Nie można zmierzyć FEV<sub>1</sub> z wykresu przepływ/objętość.

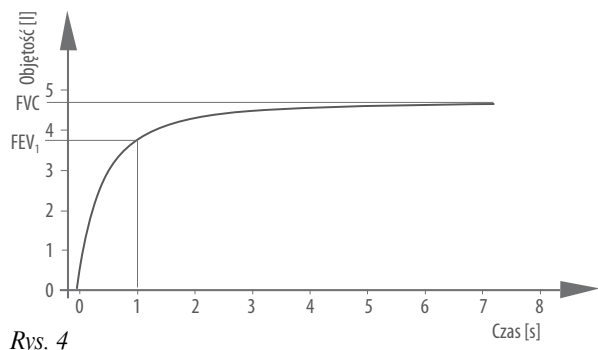


Rys. 3. Wydechowa część wykresu przepływ/objętość

**Krzywa objętość/czas (V-T)**

Charakterystyka krzywej objętość/czas:

- może być obserwowana w trakcie trwania testu;
- pozwala ocenić FEV<sub>1</sub> i FVC.



Rys. 4

## ZASADY PRAWIDŁOWEGO WYKONANIA BADANIA SPIROMETRYCZNEGO

### Manewr natężonego wydechu

- Kształt krzywych przepływ/objętość i krzywej objętość/czas.
- Bez artefaktów i kaszlu w czasie pierwszej sekundy.
- Maksymalny, jednostajny wysiłek wydechowy.
- Wyplaszczony koniec wydechu (płaska krzywa objętość/czas).
- Należy wykonać przynajmniej 3-krotnie (maksymalnie 8 razy).
- Odpowiednio szybki początek – czas do osiągnięcia PEF (FET PEF) <300 ms i ekstrapolowana wstecz objętość (BEV) <5% i <150 ml (<100 ml dla FVC <1000 ml) uzyskanego FVC.
- Czas trwania natężonego wydechu (FET) >6 sekund.
- Plateau na krzywej objętość/czas (zmiana objętości <25 ml w ostatniej sekundzie natężonego wydechu).
- Różnice pomiędzy 2 najlepszymi wynikami FVC i FEV<sub>1</sub> <150 ml.
- Wykonano wystarczającą liczbę akceptowalnych technicznie manewrów (QC = 1).
- SR – liczba standaryzowanych reszt, tj. wartość odchylenia uzyskanego wyniku od wartości należącej dla populacji referencyjnej wyrażona jako liczba odchyłeń standardowych.
- SR = -1,645 oznacza wynik na poziomie 5. percentyla.
- SR = 1,645 oznacza wynik na poziomie 95. percentyla.
- Dla dzieci zakres normy to wyniki w zakresie 3.–97. percentyla, co odpowiada SR = ±1,96.

### Wybór parametrów do interpretacji

Otrzymał zapis poprawny pod względem technicznym, należy ocenić:

- FVC – najlepsze;
- FEV<sub>1</sub> – najlepsze;
- pozostałe zmienne z testu, w którym suma wartości FVC [L] + FEV<sub>1</sub> [L] jest największa.

### Wyniki badania spirometrycznego – wartości prawidłowe

- Wyniki wyraża się w odsetkach wartości należnych (% wn.).
- Zakres wartości prawidłowych określa się na podstawie rozrzutu wartości danego parametru w zdrowej populacji (w zakresie 5.–95. percentyla).
- W przybliżeniu zakres normy dla VC, FVC, FEV<sub>1</sub> odpowiada ±20% wn., dla FEV<sub>1</sub>/(FVC) odpowiada ±11% wn.; SR = ±1,645.

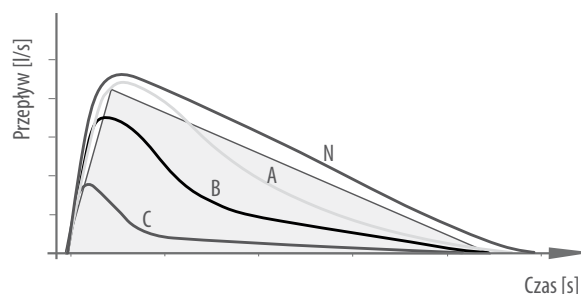
### Cele do osiągnięcia

- 3 maksymalne wydechy.
- Powtarzalność – różnica FEV<sub>1</sub> <100 ml (5%) [Kategoria badania A].
- Powtarzalność – różnica FVC <100 ml (5%) [Kategoria badania A].
- można wykonać do 8 prób.

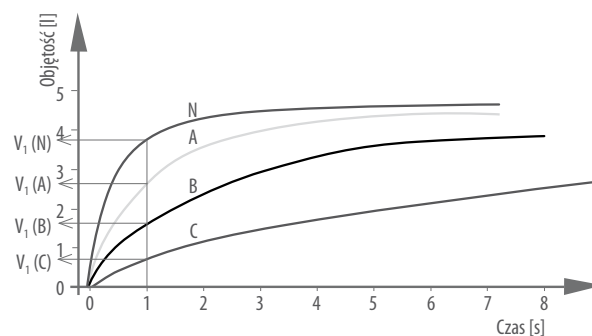
## TYPY ZABURZEŃ SPRAWNOŚCI WENTYLACYJNEJ PŁUC

### A. Typ obturacyjny

Typ obturacyjny jest związany ze zwężeniem oskrzeli, co wiąże się ze zmniejszeniem przepływu powietrza przez drogi oddechowe. Zmniejszone są wskaźniki FEV<sub>1</sub>, PEF i MEF.



Rys. 5



Rys. 6

Linia N odpowiada normie.

W kolejnych badaniach coraz większy stopień obturacji oskrzeli jest widoczny jako bardziej wklęsła linia wydechu na krzywej przepływ/objętość. Na krzywej objętość/czas jej przebieg jest bardziej płaski, nachylony do osi czasu, a wartości FEV<sub>1</sub> ulegają odpowiednio zmniejszeniu.

### Interpretacja wyników spirometrii

- Obturacja – FEV<sub>1</sub>/FVC lub FEV<sub>1</sub>/VC<sub>max</sub> jest poniżej dolnej granicy normy (LLN, DGN).
- Wg GOLD 2006 spirometrycznym kryterium rozpoznania POChP jest wartość po próbie rozkurczowej FEV<sub>1</sub>/FVC <0,7 i (lub) ≤85% wn.

### Klasyfikacja nasilenia obturacji

FEV <sub>1</sub> (% wn.)	Obturacja
≥70	łagodna
60–69	umiarkowana
50–59	średnio ciężka
35–49	ciężka
<35	bardzo ciężka

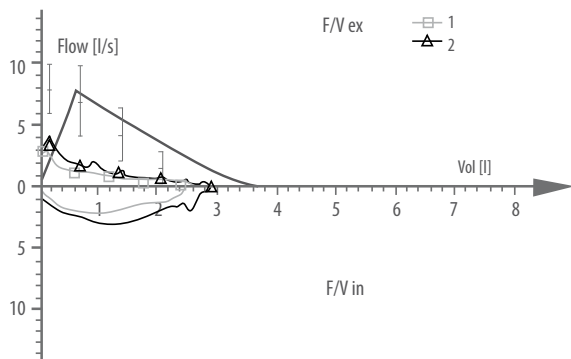
**Próba rozkurczowa**

Wskazaniem do wykonania testu odwracalności skurczu oskrzeli jest stwierdzenie zmian typu obturacji w wyjściowym badaniu spirometrycznym. Oceniana jest odwracalność zaburzeń wentylacji wskutek inhalacji leku rozszerzającego oskrzela. W tym celu po wykonaniu wstępnego badania spirometrycznego chory przyjmuje z inhalatora MDI krótko działający  $\beta_2$ -mimetyk (salbutamol, fenoterol) lub cholinolityk (bromek ipratropium), jeśli leki z grupy  $\beta_2$ -agonistów są przeciwwskazane. Po około 15 minutach wykonuje się badanie kontrolne. Przed badaniem chory nie powinien stosować: w okresie minimum 12 godzin (optymalnie 24 godzin) długo działających  $\beta_2$ -mimetyków oraz preparatów teofiliny o przedłużonym czasie uwalniania, a w ciągu 8 godzin wziewnych leków krótko działających.

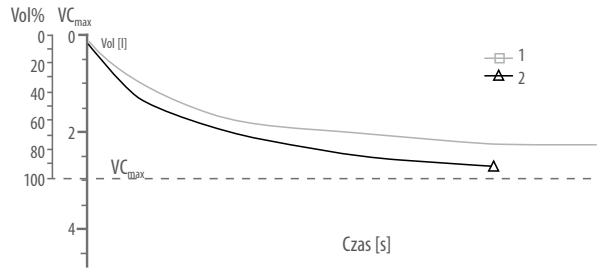
**Kryterium odwracalności obturacji**

Zwiększenie wartości FEV<sub>1</sub> lub FVC o >200 ml i >12% wartości należącej lub wyjściowej.

**Przykład 1**



Rys. 7

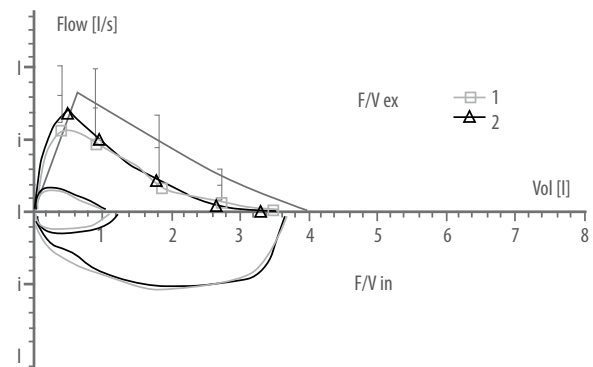


Rys. 8

**Wynik badania**

Obturacja (FEV<sub>1</sub>/FVC <0,7) typu ciężkiego (35 < FEV<sub>1</sub> < 49). Próba rozkurczowa dodatnia, ponieważ FEV<sub>1</sub> i nawet FVC po leku rozkurczowym wzrosło o co najmniej 200 ml i 12% wartości wyjściowej.

**Przykład 2**



Rys. 9

**Wynik badania**

Obturacja typu łagodnego (FEV<sub>1</sub>/FVC < 0,7, FEV<sub>1</sub> jest powyżej 70% wartości należącej). Próba rozkurczowa ujemna, ponieważ ani FEV<sub>1</sub>, ani FVC po leku rozkurczowym nie wzrosło o co najmniej 200 ml i 12% wartości należącej lub wyjściowej.

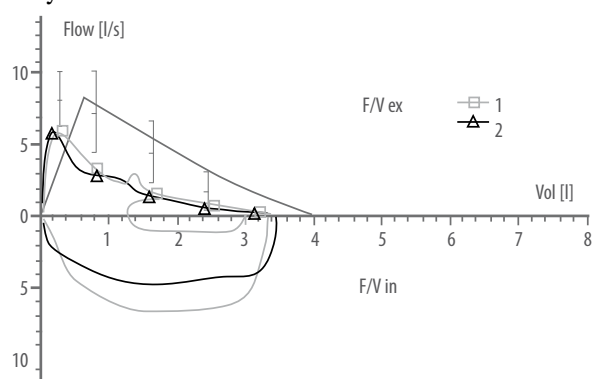
		Pred	Act1%(Act1/Pred)	SR	PR	Act2%(Act2/Act1)	
<b>Substance</b>		<b>ventolin</b>					
VC MAX	[L]	3.86	2.73	70.8	-2.02	3.15	3.00
IC	[L]	2.78	1.90	68.5			2.42
IRV	[L]		1.28				1.74
ERV	[L]	1.08	0.83	76.9			0.57
BF	[l/min]	20.00	16.82	84.1			20.93
FVC	[L]	3.72	2.31	62.1	-2.32	1.90	2.76
FEV 1	[L]	2.95	1.17	39.8	-3.49	0.26	1.50
PEF	[L/s]	7.82	3.19	40.8	-3.84	0.15	3.56
FEF 25	[L/s]	6.91	1.17	16.9	-3.37	0.33	1.45
FEF 50	[L/s]	4.12	0.78	18.8	-2.54	1.31	0.84
FEF 75	[L/s]	1.46	0.29	19.6	-1.51	7.15	0.35
FEF 50 % FVC	[%]	110.8	33.61	30.3			30.40
FEV 1 % VC MAX	[%]	76.41	42.97	56.2	-4.68	0.04	50.12
FEV 1 % FVC	[%]		50.84				54.48
FIF 50	[L/s]		2.13				3.17
FET	[s]		7.95				5.80

Tabela 1

		Pred	Act1%(Act1/Pred)	SR	PR	Act2%(Act2/Act1)	
<b>Substance</b>		ventolin					
VC MAX	[L]	4.11	3.61	87.7	-0.90	17.69	3.58
IC	[L]	2.93					99.1
IRV	[L]						
ERV	[L]	1.18					
BF	[l/min]	20.00	23.53	117.6			27.91
FVC	[L]	3.96	3.45	87.2	-0.83	19.52	3.32
FEV 1	[L]	3.20	2.39	74.8	-1.58	6.35	2.37
PEF	[L/s]	8.19	5.54	67.7	-2.19	2.36	6.64
FEF 25	[L/s]	7.17	4.52	63.0	-1.55	6.65	5.22
FEF 50	[L/s]	4.37	1.61	36.9	-2.10	2.74	1.64
FEF 75	[L/s]	1.67	0.31	18.8	-1.74	4.94	0.37
FEF 50 % FVC	[%]	110.5	46.70	42.3			49.35
FEV 1 % VC MAX	[%]	77.67	66.28	85.3	-1.59	6.24	66.29
FEV 1 % FVC	[%]		69.29				71.42
EIF 50	[L/s]		5.52				5.37
EET	[s]		8.99				10.11

Tabela 2

**Przykład 3**



Rys. 10

**Wynik badania**

W badaniu spirometrycznym stwierdza się niewydolność wentylacyjną typu obturacyjnego. Obturacja jest

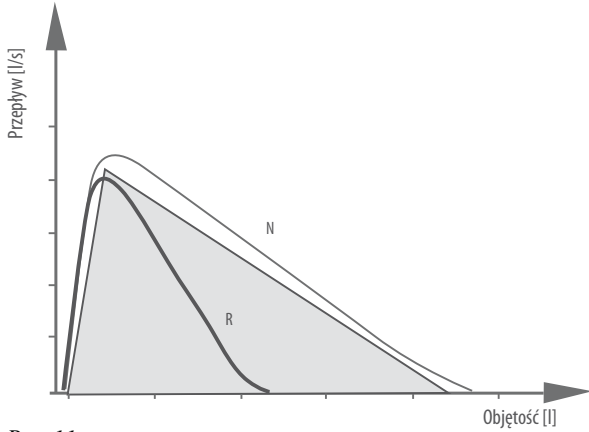
stopnia umiarkowanego, ponieważ FEV<sub>1</sub> mieści się w przedziale wartości 69–60% wartości należnej. Kryterium odwracalności obturacji po leku rozkurczowym jest zwiększenie FEV<sub>1</sub> lub FVC o ponad 200 ml i ponad 12% wartości należnej lub wyjściowej. W przedstawionym przypadku ani wartość FEV<sub>1</sub>, ani FVC nie wzrosły o 200 ml i 12% wartości należnej ani wyjściowej. Próba rozkurczowa jest więc ujemna.

**B. Typ restrykcyjny**

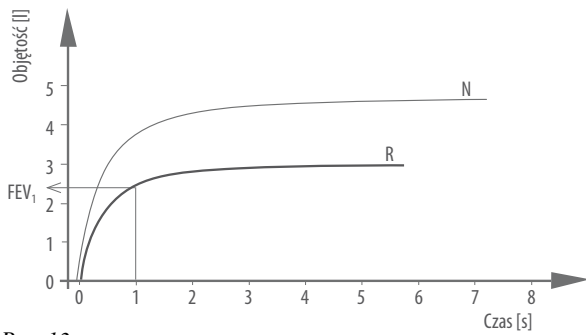
Typ restrykcyjny jest związany ze zmniejszeniem liczby pęcherzyków płucnych, co powoduje zmniejszenie podstawowych pojemności i objętości płuc (TLC, VC, RV).

		Act1%(Act1/Pred)	SR	PR	Act2%(Act2/Act1)	
<b>Substance</b>		salbutamol				
VC MAX	[L]	3.33	80.5	-1.45	7.89	3.45
IC	[L]	2.77	91.9			103.6
IRV	[L]	1.36				
ERV	[L]	0.56	49.6			
BF	[l/min]	16.36	81.8			
FVC	[L]	3.18	80.0	-1.31	9.70	3.25
FEV 1	[L]	2.10	67.0	-2.04	3.05	2.00
PEF	[L/s]	5.92	73.2	-1.79	4.52	5.99
FEF 25	[L/s]	3.12	43.7	-2.36	1.77	2.55
FEF 50	[L/s]	1.33	31.1	-2.24	2.17	1.37
FEF 75	[L/s]	0.34	21.5	-1.58	6.40	0.35
FEF 50 % FVC	[%]	41.75	38.9			42.06
FEV 1 % VC MAX	[%]	63.18	82.9	-1.83	4.30	57.89
FEV 1 % FVC	[%]	66.04				61.45
EIF 50	[L/s]	6.59				4.93
EET	[s]	6.73				9.01

Tabela 3



Rys. 11



Rys. 12

**Klasyfikacja nasilenia restrykcji**

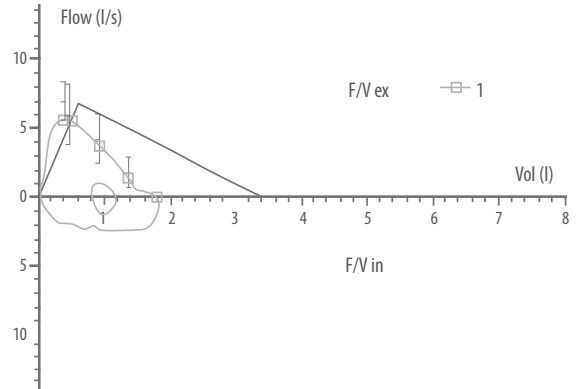
TLC niezależnie od FEV <sub>1</sub> %VC <sub>max</sub>	Zaburzenie
70% nal. ≤ TLC < DGN	łagodne
60% nal. ≤ TLC < 70% nal.	umiarkowane
TLC < 60% nal.	ciężkie

Tabela 4. Klasyfikacja nasilenia restrykcji

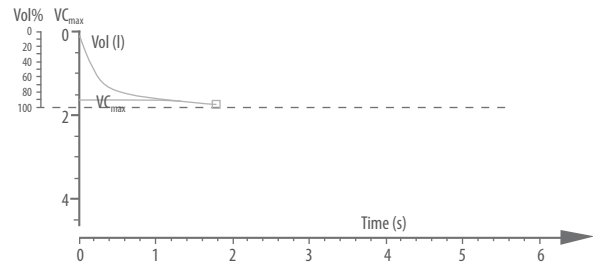
70% nal. ≤ VC < DGN	łagodne
60% nal. ≤ VC < 70% nal.	umiarkowane
50% nal. ≤ VC < 76% nal.	umiarkowanie ciężkie
34% nal. ≤ VC < 50% nal.	ciężkie
VC < 34% nal.	bardzo ciężkie

Tabela 5. Klasyfikacja zaburzeń restrykcyjnych zależne od VC, jeżeli FEV<sub>1</sub>/VC<sub>max</sub> w normie

**Przykład 1**



Rys. 13



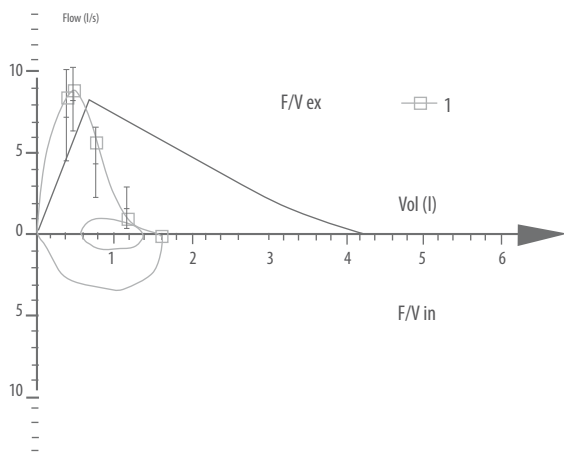
Rys. 14

		Pred	Act 1%(Act 1/Pred)	SR	PR
<b>Substance</b>					
VC MAX	[L]	3.45	1.82	52.8	-3.89 0.13
IC	[L]	2.47	1.43	57.8	
IRV	[L]	1.07	1.01		
ERV	[L]	1.07	0.39	36.8	
BF	[1/min]	20.00	52.17	260.9	
FVC	[L]	3.45	1.78	51.7	-3.89 0.13
FEV 1	[L]	2.98	1.64	55.1	-3.53 0.25
PEF	[L/s]	6.86	5.89	85.8	-1.09 13.60
FEF 25	[L/s]	5.94	5.72	96.3	-0.16 43.04
FEF 50	[L/s]	4.20	3.75	89.2	-0.41 33.11
FEF 75	[L/s]	1.78	1.18	66.0	-0.88 18.26
FEF 50 % FVC	[%]	121.7	>>	>>	>>
FEV 1 % VC MAX	[%]	80.74	89.96	111.4	1.42 91.79
FEV 1 % FVC	[%]		91.87		
FIF 50	[L/s]		2.41		
FET	[s]		1.83		

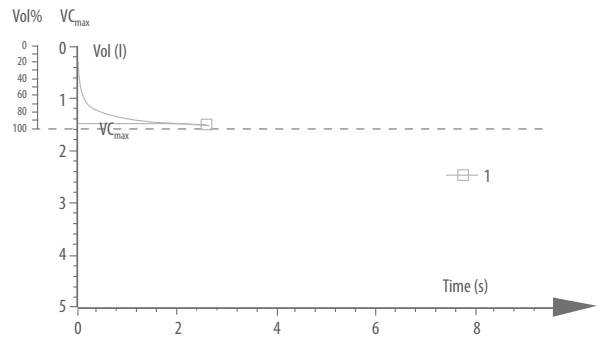
Tabela 6



Przykład 2

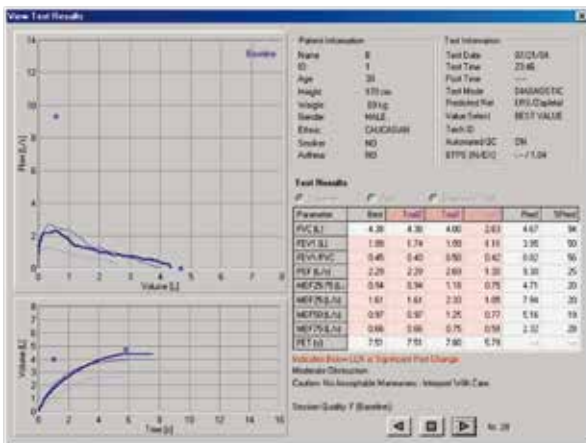


Rys. 15

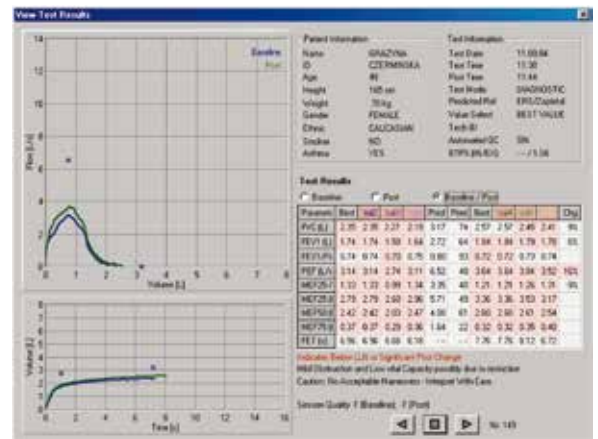


Rys. 16

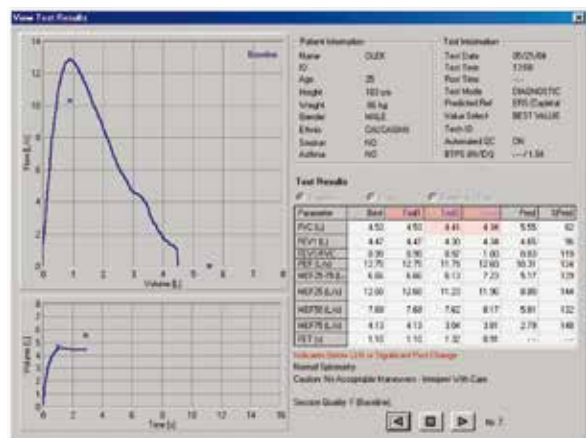
W obu przedstawionych przykładach wartość wskaźnika FEV<sub>1</sub>/FVC mieści się w granicach normy. Obniżona jest natomiast wartość FVC poniżej 70% wartości należnej. Obraz badania spirograficznego odpowiada restrykcji. Dla pełnej oceny wskazane jest wykonanie badania bodypletyzmo graficznego w celu oceny wartości TLC.



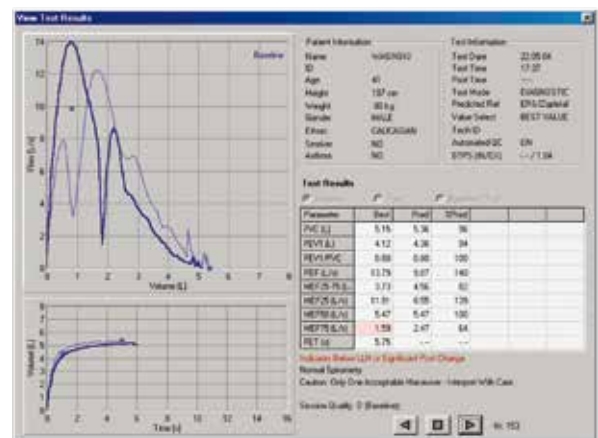
Rys. 17. Niepełny wdech obniża wartość FEV<sub>1</sub> i FVC i jest przyczyną braku powtarzalności pomiarów



Rys. 19. Opóźniony początek wydechu, tj. wydłużenie czasu tPEF, powoduje obniżenie wartości FEV<sub>1</sub>



Rys. 18. Krótki wydech powoduje obniżenie wartości FVC



Rys. 20. Kaszel, głównie w początkowej fazie wydechu, prowadzi do obniżenia wartości FEV<sub>1</sub>



Przykład: *SPIROMETR MasterScreen Body*  
(Dystrybutor: Miro Sp. z o.o.)

#### Najczęstsze błędy popełniane przy wykonywaniu badania spirometrycznego

- Błędne dane badanego, szczególnie błędnie podane, wiek, wzrost, rasa, płeć.
- Niedostateczne poinstruowanie lub brak poinstruowania badanego co do techniki badania.
- Niedostateczna współpraca osoby wykonującej badanie z osobą badaną.
- Niewłaściwa pozycja badanego.
- Nieprawidłowe umieszczenie ustnika w jamie ustnej lub nieszczelne objęcie ustnika wargami, przygryzienie ustnika, zatykanie światła ustnika językiem.

### SPIROMETRY

Jest wiele typów spirometrów dostępnych i stosowanych w różnych warunkach klinicznych.

Ogólnie można podzielić spirometry na: **spirometry objętościowe** (mieszkowy, cylindryczny, tłokowy i inne) – pracujące w obiegu zamkniętym, mierzą objętość wydychanego powietrza i – **spirometry pracujące w układzie otwartym**, mierzące przepływ powietrza przez specjalną głowicę.

Spirometry objętościowe stosuje się rzadko.

Badanie polega na pomiarze zmian objętości wydychanego powietrza w jednostce czasu. Wartość FVC, VC i FEV<sub>1</sub> oblicza się na podstawie danych z wykresu, co istotnie wydłuża czas badania. Spirometry objętościowe nie są zwykle przenośne i stosuje się je głównie

w pracowniach badań czynnościowych układu oddechowego. Wymagają regularnie przeprowadzanych kalibracji, ale ich pomiary są bardzo dokładne.

Z tych powodów obecnie w praktyce lekarskiej stosowane są głównie spirometry działające w układzie otwartym, w których pomiar jest dokonywany elektronicznie. Urządzenia są wyposażone w specjalne czujniki mierzące przepływ, co pozwala na wyliczenie poszczególnych objętości płuc na podstawie:

- zmian ciśnienia powietrza przepływającego przez opornik (np. sito pneumatografu);
- zmian temperatury nagrzanego przewodu pod wpływem przepływającego powietrza;
- zmian prędkości obrotów turbiny pod wpływem przepływającego powietrza;
- rejestracji ultrasonograficznej.

Typowe spirometry są kompaktowe, przenośne i łatwe w użyciu. Zwykle wyposażone są w wyświetlacz czasu rzeczywistego oraz umożliwiają wydruk wyników. Niektóre wymagają codziennej kalibracji, inne, zgodnie z zaleceniem producenta, np. co 6 miesięcy. Spirometry małe, przenośne, tzw. biurkowe, zapewniają odpowiednią dokładność i są idealne do stosowania w warunkach podstawowej opieki lekarskiej.

**W praktyce medycznej najczęściej stosowane są następujące rodzaje spirometrów:**

#### 1. Spirometr termiczny (oporowy)

Wydychiwane przez pacjenta powietrze schładza rozgrzany cienki drut. Im większa prędkość przepływu, tym większy spadek temperatury i w konsekwencji spadek oporu przepływającego prądu. Spirometry termiczne są bardzo czułe i dobrze rejestrują przepływy. Wymagają jednak częstego – nawet codziennego – kalibrowania z powodu bardzo dużej wrażliwości na temperaturę otoczenia. Urządzenia te nie rozróżniają kierunku, w jakim porusza się powietrze. Duża liczba przewodów elektrycznych łączących głowicę spirometryczną z modulem pomiarowym ogranicza funkcjonalność urządzenia. Spirometry termiczne są duże, ciężkie, praktycznie nieprzenośne.

#### 2. Spirometr ultradźwiękowy

Obliczenie prędkości przepływu następuje dzięki zastosowaniu zjawiska Dopplera.

Spirometry te charakteryzuje duża precyzja i powtarzalność pomiarów. Nie wymagają kalibracji. Temperatura i wilgotność otoczenia nie mają wpływu na ich działanie. Są lekkie, wygodne w użyciu, wykazują się bardzo dużą precyzją w ocenie przepływów oddechowych. Dodatkową zaletą jest ocena jakości wykonanego badania. Przykład: Spirometr EasyOne.

### 3. Spirometr ciśnieniowy (pneumotachometr)



Przykład: *SPIROMETR Spiro Pro®+*  
(Dystrybutor: Miro Sp. z o.o.)

Do obliczenia prędkości przepływu wykorzystywane jest prawo Venturiego – wartością mierzona jest różnica ciśnień przed i za przeszkodą o znanym oporze (membraną – spirometr Lilly’ego; zespołem równoległych kapilar – spirometr Fleischa) lub prawo Bernoulliego – z wykorzystaniem rurki Pitota.

Spirometry ciśnieniowe są wrażliwe na zmiany ciśnienia atmosferycznego i temperatury otoczenia, dlatego wymagają częstych kalibracji.

### 4. Spirometry turbinowe



Przykład: *Spirometr Spirolab® III*  
(importer ADVERTI sp. z o.o. sp. k.)

Ruch wydychanego przez pacjenta powietrza powoduje uruchomienie turbiny.

Poprzez układ fotokomórek mierzona jest prędkość obrotowa turbiny, dzięki czemu można oszacować prędkość przepływu powietrza.

Jeżeli turbina wykonana jest z węgla lub kevlaru, spirometr nie wymaga kalibracji, a temperatura otoczenia nie ma wpływu na jakość wykonywanych pomiarów.

Ciśnienie atmosferyczne i wilgotność powietrza nie mają wpływu na otrzymywane wyniki.

## Spirometria praktyczna – jak wykorzystać badania spirometryczne w diagnostyce i leczeniu chorób dróg oddechowych? Komentarz

Michał Pirożyński

Zakład Alergologii i Pneumonologii, Centrum Medyczne Kształcenia Podyplomowego, Warszawa

Badanie spirometryczne należy do podstawowych badań diagnostycznych w pulmonologii i alergologii. Ocena czynności układu oddechowego jest konieczna przy rozpoznawaniu i monitorowaniu schorzeń nie tylko dróg oddechowych (m.in. astma, POChP), miąższu płuc (choroby śródmiąższowe płuc), ale również opłucnej i klatki piersiowej (m.in. schorzenia z ograniczeniem ruchomości w przebiegu patologii opłucnej czy układu chrząstko-kostnego klatki piersiowej).

Najczęściej korzystamy z badań spirometrycznych w przypadku diagnozowania chorób dolnych dróg oddechowych, czyli astmy i POChP. Na wynikach badań czynności układu oddechowego opieramy monitorowanie przebiegu leczenia farmakologicznego w wymienionych jednostkach chorobowych.

Spirometrię możemy wykonywać u każdego chorego niezależnie od wieku – jak słusznie pisze dr Bożena Ziółkowska-Graca, warunkiem jest umiejętność wykonania przez chorego zarówno prawidłowego spokojnego, jak i forsownego wdechu i wydechu.

Wykorzystanie wyników badania spirometrycznego nie jest jednak prostą czynnością. Słusznie autorka omawia sposób wykonywania zarówno statycznej, jak i dynamicznej spirometrii. Należy pamiętać, że wykonywanie badania spirometrycznego niezgodnie z zaleceniami towarzystw naukowych może prowadzić do mylnego rozpoznawania, m.in. astmy czy POChP. Ocena krzywej MEFV czy spirometrii statycznej w sytuacji, gdy chory nie wykonuje pełnego wdechu i wydechu, może przyczynić się do błędnego rozpoznania astmy, a niewykonanie próby odwracalności do nieprawidłowego rozpoznania odwracalnej choroby – astmy.

Dr Bożena Ziółkowska-Graca w sposób bardzo precyzyjny, ale i przystępny opisuje praktyczne aspekty badania spirometrycznego statycznego i dynamicznego. Jej praca poglądowa jest bardzo ważnym elementem propagowania zalecanego postępowania w ocenie czynności układu oddechowego zarówno u dzieci, jak i dorosłych.