

The Polish Society of Family Medicine
The Association of Friends of Family Medicine & Family Doctors

ISSN 1734-3402, eISSN 2449-8580

Family Medicine & Primary Care Review

Quarterly

Badania czynnościowe płuc u dzieci: oscylometria.
Stanowisko Polskiego Towarzystwa Pneumonologii Dziecięcej
(STAN PNEUMO: OSCYLOMETRIA)

Przedruk



2025

July–September

Vol. 27, No. 3

WYDAWNICTWO
Continuo

Impact factor 2024: 0.4
(Web of Science Core Collection)

Central European Journal of Social Sciences and Humanities,
DOAJ, EBSCO, EMBASE/Excerpta Medica, ESCI – Emerging
Sources Citation Index (Web of Science, Clarivate Analytics),
Index Copernicus (ICV 2024: 145), ICMJE – International
Committee of Medical Journal Editors, MOST Wiedzy, Polish
Medical Bibliography, Ministry of Science and Higher
Education (20 pts), Polish Scholarly Bibliography, Scopus,
Ulrich's International Periodicals Directory, WorldCat

The Polish Society of Family Medicine
The Association of Friends of Family Medicine & Family Doctors

ISSN 1734-3402, eISSN 2449-8580

Family Medicine & Primary Care Review

Quarterly

Badania czynnościowe płuc u dzieci: oscylometria.
Stanowisko Polskiego Towarzystwa Pneumonologii Dziecięcej
(STAN PNEUMO: OSCYLOMETRIA)

Przedruk

2025

July–September

Vol. 27, No. 3

WYDAWNICTWO
Continuo

Impact factor 2024: 0.4
(Web of Science Core Collection)

Central European Journal of Social Sciences and Humanities,
DOAJ, EBSCO, EMBASE/Excerpta Medica, ESCI – Emerging
Sources Citation Index (Web of Science, Clarivate Analytics),
Index Copernicus (ICV 2024: 145), ICMJE – International
Committee of Medical Journal Editors, MOST Wiedzy, Polish
Medical Bibliography, Ministry of Science and Higher
Education (20 pts), Polish Scholarly Bibliography, Scopus,
Ulrich's International Periodicals Directory, WorldCat

Scientific Committee

Prof. Dieter Adam, MD, PhD (Munich, Germany),
Prof. Jiří Beneš, MD, PhD (Prague, Czech Republic),
Luc van Berkestijn, MD, PhD (Utrecht, Netherlands),
Jerzy Błaszczyk, MD, PhD, Assoc. Prof. (Wrocław),
Stephan Böse-O'Reilly, MD, PhD (Munich, Germany),
Nilzete Liberato Bresolin, PhD (Florianópolis, Brazil),
Walbia Salete Bittencourt Correa, MD, PhD (Florianópolis, Brazil),
Prof. Olga Fedorciv, MD, PhD (Ternopil, Ukraine),
Prof. George Freeman, MD, PhD (London, United Kingdom),
Prof. Suleyman Görpelioglu, MD, PhD (Izmit, Turkey),
Prof. Hans-Joachim Hannich, MD, PhD (Greifswald, Germany),
Wolfgang Hannover, MD, PhD, Assoc. Prof. (Greifswald, Germany),
Prof. Steinar Hunskaar, MD, PhD (Bergen, Norway),
Prof. Andrzej Kiejna, MD, PhD (Wrocław),
Prof. Ludmila Klimackaya, MD, PhD (Krasnoyarsk, Russia),
Prof. Jerzy Kołodziej, MD, PhD (Wrocław),
Prof. Piotr Kuna, MD, PhD (Łódź),
Krzysztof Kuszewski, MD, PhD (Warsaw),
Prof. Andrzej Kübler, MD, PhD (Wrocław),
Prof. Radosław Kveder, MD, PhD (Ljubljana, Slovenia),
Prof. Witold Łukas, MD, PhD (Katowice),
Prof. Andrzej Mackiewicz, MD, PhD (Poznań),
Christopher Magier, MD, PhD (Newport, United Kingdom),
Prof. Bengt Mattsson, MD, PhD (Gothenburg, Sweden),
Prof. John Noble, MD, PhD (Boston, USA),
Prof. Marc Nyssen, MD, PhD (Brussels, Belgium),
Patricia Owens, MD, PhD (Liverpool, United Kingdom),
Prof. Leszek Paradowski, MD, PhD (Wrocław),
Prof. Sir Denis Pereira-Gray, MD, PhD (London, United Kingdom),
Prof. Tadeusz Płusa, MD, PhD (Warsaw),
Prof. Andrzej Radzikowski, MD, PhD (Warsaw),
Prof. Andrzej Rajewski, MD, PhD (Poznań),
Lindsay Roberts, MD, PhD (Balgowlah Heights, Australia),
Prof. Zbigniew Rudkowski, MD, PhD (Wrocław),
Prof. Bolesław Rutkowski, MD, PhD (Gdańsk),
Hogne Sandvik, MD, PhD (Bergen, Norway),
Prof. Janusz Siebert, MD, PhD (Gdańsk),
Agnes Sielbert, MD, PhD (Chicago, USA),
Prof. Wojciech Służewski, MD, PhD (Poznań),
Prof. Jaime Correia de Sousa, MD, PhD (Matosinhos, Portugal),
Loreta Strumylaite, MD, PhD (Kaunas, Lithuania),
Andrzej Szpakow, MD, PhD (Grodno, Belarus),
Prof. Piotr Szyber, MD, PhD (Wrocław),
Prof. Barbara Świątek, MD, PhD (Wrocław),
Prof. Vytautas Usonis, MD, PhD (Vilnius, Lithuania),
Prof. Irma Virjo, MD, PhD (Tampere, Finland),
Prof. Zygmunt Zdrojewicz, MD, PhD (Wrocław),
Muharem Zildzic, MD, PhD (Tuzla, Bosnia-Herzegovina),
Prof. Irena Zimmermann-Görska, PhD (Poznań)

Editorial Board

Editor-in-Chief:

Prof. Aneta Nitsch-Osuch, MD, PhD

Assistant Editor:

Bożena Mroczek, PhD, Assoc. Prof.

Associate Editor:

Agnieszka Mastalerz-Migas, MD, PhD, Assoc. Prof.

Editorial Staff:

Prof. Jarosław Drobnik, MD, PhD, Medical University of Wrocław, Poland,
Maria Magdalena Bujnowska-Fedak, MD, PhD, Assoc. Prof., Medical University of Wrocław, Poland,
Mateusz Babicki, MD, PhD, Medical University of Wrocław, Poland,
Katarzyna Szwamel, RN, PhD, University of Opole, Opole, Poland

Scientific Secretary of the Editorial Board:

Bartosz Sapilak, MD, PhD, bartosz.sapilak@umw.edu.pl,
Katarzyna Okreglicka, PhD, katarzyna.okreglicka@wum.edu.pl,
Katarzyna Lewtak, MD, PhD, katarzyna.lewtak@wum.edu.pl

Administrative Secretary of the Editorial Board:

Marta Kowalewska, m.kowalewska@lekarze.rodzinni.pl

Language Editors

Ian Transue, Cleveland, USA (Lingua Lab),
Peter Foulds, London, United Kingdom (Lingua Lab),
Joseph Edward Marsh, USA (Lingua Lab)

Statistical Editor

Dominik M. Marciniak, PhD, Medical University of Wrocław, Poland
dominik.marciniak@umed.wroc.pl

Thematic Editors

Family medicine, primary care:

Bartosz J. Sapilak, MD, PhD, Medical University of Wrocław, Poland,
Maria Magdalena Bujnowska-Fedak, MD, PhD, Assoc. Prof., Medical University of Wrocław, Poland,
Justyna Ledwoch, MD, Medical University of Wrocław, Poland,
Mateusz Babicki, MD, PhD, Medical University of Wrocław, Poland,
Prof. Victoria Tkachenko, MD, PhD, DMSc, Shupyk National Healthcare University of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Internal medicine:

Prof. Adam Antczak, MD, PhD, Medical University of Łódź, Poland,
Olga Tronina, MD, PhD, Medical University of Warsaw, Poland

Paediatrics:

Prof. Katarzyna Kiliś-Pstrusińska, MD, PhD, Medical University of Wrocław, Poland,
Prof. Barbara Królak-Olejnik, MD, PhD, Medical University of Wrocław, Poland,
Prof. Oana Falup Pecurariu, MD, PhD, Transylvania University Brasov, Romania

Gynecology, obstetrics:

Ewa Romejko-Wolniewicz, MD, PhD, Assoc. Prof., Medical University of Warsaw, Poland,
Jacek Sienko, MD, PhD, Assoc. Prof., Medical University of Warsaw, Poland

Surgery:

Jakub Radziszewski, MD, PhD, Assoc. Prof., Medical University of Siedlce, Poland,
Prof. Tomasz Jakimowicz, MD, PhD, Medical University of Warsaw, Poland

Neurology:

Prof. Marta Banach, MD, PhD, Jagiellonian University in Cracow, Poland

Infectious diseases:

Ernest Kuchar, MD, PhD, Assoc. Prof., Medical University of Warsaw, Poland,
Prof. Helena Maltezos, MD, PhD, National Public Health Organization, Athens, Greece

Epidemiology, forensic medicine, judicature:

Robert Susło, MD, PhD, Medical University of Wrocław, Poland

Nursing, family medicine:

Barbara Ślusarska, PhD, Assoc. Prof., Medical University of Lublin, Poland,
Katarzyna Szwamel, RN, PhD, University of Opole, Opole, Poland

Public health:

Prof. Zuzana Krištúfková, MD, PhD, MPH, Slovak Medical University, Bratislava, Slovakia,
Bożena Mroczek, PhD, Assoc. Prof., Pomeranian Medical University in Szczecin, Poland,
Katarzyna Lewtak, MD, PhD, Medical University of Warsaw, Poland

Nutrition and dietetics:

Katarzyna Okreglicka, PhD, Medical University of Warsaw, Poland

Editorial Office

Department of Family Medicine, Medical University of Wrocław
Syrokomi 1, 51-141 Wrocław, Poland, Europe
Tel.: +48 71 325-51-26, tel./fax: +48 71 325-43-41

Contact persons: Bartosz J. Sapilak, MD, PhD, tel.: +48 501 148-503
E-mail: bartosz.sapilak@umw.edu.pl

Marta Kowalewska, tel.: +48 71 326-68-78
E-mail: m.kowalewska@lekarze.rodzinni.pl

Publisher

WYDAWNICTWO
Continuo

Editorial Office, subscription:

Continuo Publisher
Lelewela 4/325, 53-505 Wrocław, Poland, Europe
Tel./fax: +48 71 791-20-30, +48 601 774-733
E-mail: biuro@continuo.pl, zamowienia@continuo.pl,
www.continuo.pl

Contact person: Jan Kuźma – Publishing Editor, tel.: +48 71 791-20-30,
e-mail: wydawnictwo@continuo.pl

FM&PCR journal (ISSN 1734-34-02, eISSN 2449-8580) is published in the original printed version and in the electronic version at:
https://www.termia.pl/Journal/Family_Medicine_amp_Primary_Care_Review-95

Technical editing and prepress: Anna Derbin, Continuo Publisher

Printing: MCP, Marki; edition: up to 1,000 copies.

Badania czynnościowe płuc u dzieci: oscylometria. Stanowisko Polskiego Towarzystwa Pneumonologii Dziecięcej (STAN PNEUMO: OSCYLOMETRIA)

ELIZA WASILEWSKA^{1, 2, A, B, D-F}, JOANNA PERADZYŃSKA^{3, D-F}, KATARZYNA WALICKA-SERZYSKO^{4, 5, B},
ORCID ID: 0000-0002-5288-0586 ORCID ID: 0000-0001-6587-0523 ORCID ID: 0000-0002-6496-8737
KATARZYNA KRENKE^{6, D-F}, ZBIGNIEW DONIEC^{7, 8, D}, HENRYK MAZUREK^{9, D},
ORCID ID: 0000-0002-8370-784X ORCID ID: 0000-0003-3896-1053 ORCID ID: 0000-0002-6392-1996
IRENA WOJSYK-BANASZAK^{10, D-F}
ORCID ID: 0000-0001-6724-1499

¹ Klinika Alergologii, Gdański Uniwersytet Medyczny, Gdańsk, Polska

² Pracownia Badań Czynnościowych Układu Oddechowego dla Dzieci i Młodzieży. Uniwersyteckie Centrum Kliniczne Gdańsk, Polska

³ Zakład Epidemiologii i Biostatystyki, Warszawski Uniwersytet Medyczny, Warszawa, Polska

⁴ Klinika i Zakład Mukowiscydozy, Instytut Matki i Dziecka, Warszawa, Polska

⁵ Centrum Leczenia Mukowiscydozy, SZPZOZ im. Dzieci Warszawy, Dziekanów Leśny, Polska

⁶ Klinika Pediatrii, Alergologii i Pneumonologii, Warszawski Uniwersytet Medyczny, Warszawa, Polska

⁷ Zakład Fizjoterapii Układu Oddechowego Instytut Gruźlicy i Chorób Płuc Oddział Terenowy w Rabce-Zdroju, Rabka-Zdrój, Polska

⁸ Instytut Medyczny, Akademia Nauk Stosowanych w Nowym Targu, Polska

⁹ Klinika Pulmonologii i Mukowiscydozy, Instytut Gruźlicy i Chorób Płuc, Oddział Terenowy w Rabce-Zdroju, Rabka-Zdrój, Polska

¹⁰ Klinika Pulmonologii, Pediatrii, Alergii i Immunologii, Poznański Uniwersytet Medyczny, Poznań, Polska

A – Study Design, B – Data Collection, C – Statistical Analysis, D – Data Interpretation, E – Manuscript Preparation, F – Literature Search, G – Funds Collection

Streszczenie Oscylometria oddechowa jest nieinwazyjną metodą oceny czynności płuc, która jest szczególnie przydatna u dzieci, ponieważ nie wymaga dużego wysiłku ze strony pacjenta. Wraz z rosnącą dostępnością oscylometrii w Polsce pojawiła się potrzeba opracowania krótkich wytycznych do stosowania w codziennej praktyce lekarskiej.

Niniejszy artykuł opisuje zalecenia Polskiego Towarzystwa Pulmonologii Dziecięcej dotyczące techniki badania, interpretacji wyników oraz możliwości zastosowania oscylometrii. Ponieważ badanie oscylometryczne różni się od spirometrii, nacisk położono na umiejętność zrozumienia, która część układu oddechowego jest oceniana, wskazując na obecność/lub brak dysfunkcji.

Zastosowanie oscylometrii może być szczególnie korzystne i rekomendowane w diagnozowaniu chorób obturacyjnych dolnych dróg oddechowych (nadreaktywność oskrzeli, astma, dysplazja oskrzelowo-płucna, zarostowe zapalenie oskrzelików) oraz monitorowaniu postępu tych chorób i efektów leczenia u najmłodszych pacjentów, już od 3. roku życia oraz w każdej grupie wiekowej.

Słowa kluczowe: oscylometria, badania czynnościowe układu oddechowego, dziecko, funkcja płuc.

Summary Respiratory oscillometry is a non-invasive technique for evaluating lung function, particularly advantageous in pediatric populations, as it requires minimal patient cooperation. With the increasing availability of oscillometry in Poland, there is a growing demand for concise guidelines to support its routine clinical application.

This article outlines the position of the Polish Society of Pediatric Pulmonology regarding test methodology, indications, and principles of the interpretation of the results. Given the fundamental differences between oscillometry and spirometry, the guidelines emphasize understanding the specific respiratory system components assessed by oscillometry, facilitating the identification of potential dysfunction. Oscillometry holds promise in the diagnosis of obstructive lower airway diseases, such as asthma, bronchopulmonary dysplasia, bronchiolitis obliterans, and the reason for bronchial hyperresponsiveness. Furthermore, it serves as a valuable tool for monitoring disease progression and evaluating treatment efficacy in pediatric patients starting from 3 years of age and across all age groups.

Key words: oscillometry, respiratory function tests, child, lung function.

Wersja polskojęzyczna artykułu: Wasilewska E, Peradzyńska J, Walicka-Serzysko K, Krenke K, Doniec Z, Mazurek H, Wojsyk-Banaszak I. Lung function testing in children: oscillometry. Expert position statement of the Polish Society of Pediatric Pulmonology (STAN PNEUMO: OSCYLOMETRY). *Fam Med Prim Care Rev* 2025; 27(3): 377–385, doi: <https://doi.org/10.5114/fmPCR.2025.153098>.



Wstęp

Podstawowym badaniem do diagnozowania i monitorowania najczęstszych chorób obturacyjnych (astma) jest spirometria, jednakże pozostaje ona trudna do wykonania u osób poniżej 6. roku życia, słabo współpracujących, z osłabioną siłą mięśni, czy innymi przeciwwskazaniami do wykonywania dynamicznych oddechów, jak również nie ocenia w satysfakcjonujący sposób drobnych oskrzeli [1, 2]. Lukę tę można uzupełnić stosując oscylometrię oddechową.

W ostatnim czasie oscylometria stała się badaniem coraz bardziej rozpowszechnionym, stosowanym jako ocena uzupełniająca lub w przypadkach, gdy spirometria lub inne testy oceniające czynność układu oddechowego nie są możliwe. W 2020 r. opublikowany został dokument ekspertów dotyczący standardów technicznych oscylometrii oddechowej w *European Respiratory Journal* [3], a następnie w 2022 r. dokument zatytułowany „Znaczenie kliniczne i zastosowania oscylometrii” [4]. Zostały one przetłumaczone na język polski za zgodą *European Respiratory Journal* [5, 6]. Jednakże dokumenty te były zbyt obszerne i złożone, aby klinicyści mogli je łatwo wykorzystać w swojej codziennej praktyce klinicznej.

Doprowadziło to do konieczności opracowania przez Polskie Towarzystwo Pulmonologii Dziecięcej zwięzłych, lokalnych standardów wykonywania oscylometrii i interpretacji wyników w sposób przystępny dla klinicystów tak, aby badania były wykonywane i interpretowane zgodnie z tym samym standardem.

Celem niniejszych zaleceń jest określenie podstawowych zasad wykonywania oscylometrii.

Techniczne podstawy oscylometrii

Oscylometria oddechowa bada odpowiedź organizmu na zadany bodziec akustyczny, który jest oscylującą falą ciśnienia, dostarczaną najczęściej przez usta, do układu oddechowego w trakcie spokojnego oddychania. Pomiar oscylometryczny pomaga ocenić własności mechaniczne układu oddechowego (górnych, wewnątrzpłucnych dróg oddechowych, miąższu płuc i ścian klatki piersiowej) [2].

Zasady pomiarów oscylometrycznych, przetwarzania sygnału, różnice dotyczące sprzętu, pozyskiwania danych i ich analizy sprawia, że pomiar oscylometrii jest innym pomiarem niż po-



Fotografia 1. Badanie oscylometryczne wykonane za pomocą urządzenia do pomiaru impulsów (Vyntus IOS)

miar funkcji płuc za pomocą spirometrii oparty o przepływ i wyliczanie objętości oddechowych.

Obecnie, kliniczne zastosowanie mają 2 typy aparatów do oscylometrii, które różnią się rodzajem generowanej fali: aparat do oscylometrii impulsowej (IOS) i aparat do oscylometrii wymuszonej (FOT). IOS generuje falę w postaci impulsu, co daje możliwość badania odpowiedzi układu oddechowego na całe spektrum częstotliwości zawartej w impulsie. FOT bada odpowiedź na konkretną (ustaloną wcześniej) częstotliwość wygenerowanego przez aparat sygnału.

Ustalono arbitralnie częstotliwości fali generowanej przez aparat, które są bezpieczne dla organizmu i jednocześnie użyteczne dla oceny właściwości układu oddechowego. Częstotliwość ta wynosi od 3 do 30 Hz [3].

W praktyce klinicznej najczęściej stosuje się częstotliwości 5 Hz i 20 Hz, chociaż niektóre urządzenia wykorzystują odpowiednio 8 Hz i 19 Hz.

Częstotliwość fali jest ważna, ponieważ warunkuje przenikanie sygnału na różną odległość do układu oddechowego. Fala o większej częstotliwości dociera płycej, a im fala ma mniejszą częstotliwość, tym dociera dalej w głąb układu oddechowego.

Tabela 1. Definicje podstawowych wskaźników oscylometrycznych

Wskaźnik	Definicja
Z – impedancja układu oddechowego	Określa zależność między zmianami przepływu i ciśnienia podczas oscylacyjnego przepływu powietrza, zarówno w fazie wdechu, jak i wydechu $Z = R + X$.
R – opór	Całkowity opór dróg oddechowych, miąższu płuc i ścian klatki piersiowej. Opór dróg oddechowych stanowi dominujący składnik wartości R . Opór jest większy, gdy drogi oddechowe są węższe, dłuższe i bardziej niejednorodne.
R_5 – opór układu oddechowego przy 5 Hz	Opór proksymalnych dróg oddechowych (krtani, tchawica, oskrzela) oraz, w mniejszym stopniu, obwodowych dróg oddechowych (małe oskrzela).
R_{20} – opór układu oddechowego przy 20 Hz	Opór proksymalnych dróg oddechowych.
R_{5-20}	Opór obwodowych dróg oddechowych.
X – reaktancja	Zmiany ciśnienia zgodne ze zmianami objętości (ale niepozostające w fazie z przepływem). Odzwierciedla niejednorodny (zróżnicowany) rozkład fali w drogach oddechowych o różnej średnicy (głównie obwodowych) oraz podatność płuc w obrębie drzewa oskrzelowego. Niższa reaktancja (bardziej ujemna) wskazuje na większą sztywność/elastancję (E dla danej częstotliwości) oraz większą niejednorodność dróg oddechowych $X = E + I$.
X_5 – reaktancja układu oddechowego przy 5 Hz	Ocenia obwodowe części płuc: obturację dystalnych dróg oddechowych oraz właściwości sprężyste obwodowych części płuc i ścian klatki piersiowej.
E – sprężystość (elastancja)	Tzw. sztywność układu oddechowego (ściana klatki piersiowej, miąższ płuc, ściana oskrzeli) uwzględnia także ściśnięcie gazu w drogach oddechowych i pęcherzykach płucnych.

Tabela 1. Definicje podstawowych wskaźników oscylometrycznych	
Wskaźnik	Definicja
<i>I</i> – bezwładność (inercja) układu oddechowego	Opisuje utratę ciśnienia wynikającą głównie z przyspieszania słupa przepływającego gazu w centralnych drogach oddechowych. Zależy od gęstości gazu oraz stosunku długości oskrzeli do ich powierzchni. Znaczenie: <i>I</i> rośnie przy wyższych częstotliwościach oscylacji, gdy masa gazu i struktury klatki piersiowej są pobudzane (wprawiane w drgania) z większymi prędkościami. Powoduje to, że zmiany ciśnienia wyprzedzają przepływ, a reaktancja przekracza 0.
<i>Fres</i> — częstotliwość rezonansowa	Częstotliwość oscylacji, przy której składowa bezwładnościowa jest równa składowej sprężystej, co wskazuje na równowagę między nimi ($E = I$; $X = 0$). Nazywana jest również wskaźnikiem drożności małych dróg oddechowych; wartość ta zmniejsza się z wiekiem, a zwiększa się w chorobach obturacyjnych i restrykcyjnych. Proponowane zakresy normy <i>Fres</i> : małe dzieci 10–30 Hz; młodzież 8–12 Hz.
<i>AX</i> – pole pod krzywą reaktancji	Wyznaczony obszar (pole powierzchni) pod krzywą reaktancji od 5 Hz do <i>Fres</i> (punktu, w którym reaktancja wynosi 0). Wyższe wartości mogą wskazywać na większą obturację.

Aby móc uzyskać informacje z pomiaru dokonywanego za pomocą oscylometrii, konieczna jest znajomość parametrów (wartości) dwóch elementów:

(1) **fali generowanej przez aparat (tzw. częstotliwość wejścia)** – wówczas możemy oszacować, z jakim ciśnieniem i na które elementy układu oddechowego fala działała;

(2) **fali powrotnej (tzw. częstotliwość wyjścia)** – wówczas możemy oszacować odpowiedź organizmu, a konkretnie, jaką energię zużył organizm, by powrócić do stanu przed zadaniem bodźcem ciśnienia.

Do parametrów wyjścia należy: **impedancja (*Z*)**, czyli różnica między ciśnieniem a przepływem, podana w funkcji częstotliwości. Składowymi impedancji również podawanymi w funkcji częstotliwości są: **rezystancja (*R*)** i **reaktancja (*X*)**. Dodatkowo oprogramowanie wylicza **pole powierzchni pod krzywą *AX*** (tzw.

Trójkąt Goldmana) oraz **częstotliwość rezonansu (*Fres*)** (patrz rycina 1 i tabela 1). Parametry te opisują całkowite własności mechaniczne układu oddechowego.

Znając wartości powyższych parametrów, można przystąpić do interpretacji badania (patrz rozdział Interpretacja wyników).

Zasady badania oscylometrycznego

Należy przestrzegać kolejności i zasad wykonywania badania oscylometrycznego. Właściwe przygotowanie sprzętu i właściwy pomiar pozwala uniknąć błędów, które wpływają na interpretację wyniku. W tabeli 2 przedstawiono, w jaki sposób należy przygotować sprzęt i pacjenta przed badaniem i jak przeprowadzić pomiar.



Rycina 1. Graficzne przedstawienie prawidłowych wartości uzyskanych w badaniu za pomocą impedancji oscylometrii oddechowej. *AX* – wyznaczony obszar (pole powierzchni) pod krzywą reaktancji od częstotliwości 5 Hz do *Fres* (punktu, w którym reaktancja wynosi zero). *Fres* – częstotliwość oscylacji, przy której wartość bezwładności równa się wartości sprężystości (ich wzajemny wpływ równoważy się ($X = 0$; $E = I$)). Więcej szczegółów można znaleźć w tabeli 1.

Tabela 2. Opis pomiaru oscylometrycznego	
Informacje o technice przeprowadzenia badania oscylometrycznego	
	Przygotowanie sprzętu i pomieszczenia do badania
- Kalibracja sprzętu według wzorca biologicznego – po montażu sprzętu (dokonuje firma sprzedająca) przed pierwszym użyciem. - Codzienna kalibracja sprzętu za pomocą tuby do kalibracji – przed pierwszym pomiarem danego dnia (aparat IOS – zawsze, aparat FOT – w zależności od typu). - Zabroniony jest hałas w pomieszczeniu, rozpraszanie badanego, wchodzenie osób postronnych.	

Tabela 2. Opis pomiaru oscylometrycznego

Informacje o technice przeprowadzenia badania oscylometrycznego



Przygotowanie osoby badanej

- Oscylometrii nie wykonywać bezpośrednio po czynnościach wymagających głębokich oddechów (np. spirometria, wysiłek).
- *Nie określono dokładnie odstępu czasowego między pomiarem oscylometrii a czynnościami wymagającymi wysiłku oddechowego.
- Postawa podczas badania: siedząca, zrelaksowana, sylwetka wyprostowana z bardzo lekko „podciągniętą” do góry głową.
- Klipsy założony na nos.
- Język rozluźniony i poniżej ustnika, tak by nie blokował otworu ustnika.
- Usta muszą szczelnie obejmować ustnik.
- Policzki przytrzymywane poprzez lekkie przyciśnięcie dłońmi i palcami oraz podparcie kciukami umieszczonymi poniżej brody.
- *U dzieci policzki musi przytrzymywać personel lub rodzice.

- Oddychanie przez usta, normalne, swobodne (nie dynamiczne, „bez zbędnego wysiłku”), regularne (jednakowa częstotliwość), równomierne (taką samą objętością).
- Przeciwwskazane podczas badania: wstrzymywanie oddychania, wkładanie języka do ustnika, przełykanie śliny, kaszel, rozmowa, chrząkanie, zaciskanie gardła lub/i krtani.
- Odczucia odczuwalne podczas badania: delikatne „wibracje” lub „trzępotanie” w ustach i klatce piersiowej.

*Próba przeprowadzona przed podjęciem właściwego pomiaru może być przydatna, szczególnie u małych dzieci.



Informacje dla osób wykonujących badanie

- Przed pomiarem: należy wprowadzić dane badanego (w tym aktualną wagę i wzrost); poinformować badanego o technice oddychania; skontrolować za pomocą wzroku, czy nie ma nieszczelności w miejscu obejmowania ustnika ustami, czy użyto klipsa na nos i czy osiągnięto stabilne, odpowiednie objętości oddychania.
- Czas trwania pojedynczej próby: 16 sekund (dzieci < 12. r.ż.), 30 sekund (dzieci > 12. r.ż. i dorośli).
- Minimalna liczba akceptowalnych powtórzeń koniecznych do zarejestrowania: 3.
- Pomiary: powinny być wolne od artefaktów.
- Podczas pomiaru: obserwować zapis pomiarów (wykresów objętości, przepływu i ciśnienia) na ekranie monitora w celu określenia, czy pomiar jest poprawny. Wykresy powinny być regularne, a wystąpienie przerwy w sygnale objętości, zerowy przepływ lub nagłe zmiany/skoki oporu i/lub ciśnienia świadczą o obecności artefaktów i wymagają kontroli poprawności pomiaru, a następnie skorygowania błędów i/lub powtórzenia pomiaru).
Pomiary należy powtarzać, aż do zarejestrowania co najmniej trzech prób wolnych od artefaktów.

Wskazania i przeciwwskazania

W obecnie dostępnych standardach diagnostyki i leczenia chorób układu oddechowego u dzieci brak jest jednoznacznego miejsca zastosowania oscylometrii. Najczęściej traktowane jest jako badanie pomocnicze.

Wskazania:

- ocena drobnych dróg oddechowych,
- diagnostyka obturacji – możliwość wykonania próby odwracalności,
- monitorowanie leczenia chorób obturacyjnych,
- ocena dróg oddechowych u małych dzieci (już od 3. roku życia) i osób słabo współpracujących (w każdym wieku),
- ocena funkcji płuc u pacjentów, u których niewskazane są głębokie wdechy i wydechy wymagane do wykonania spirometrii (np. w ostrym okresie pooperacyjnym przeszczepu płuca, uraz).

Przeciwwskazania:

- nieumiejętność szczelnego objęcia ustnika ustami,
- lęk/panika ze względu na specyficzne odczucia podczas badania,
- infekcje lub stany, w których występują nudności lub odruch wymiotny.

Kryteria poprawności wykonania

Kryterium poprawności jest spełnione, gdy wynik jest akceptowalny, co oznacza, że zostały wykonane co najmniej 3 próby

trwające odpowiednią długość czasu (1 pomiar powinien trwać u dzieci < 12. r.ż. co najmniej 16 sekund, u dzieci > 12. r.ż. i dorosłych 30 sekund, czyli minimum 3 pełne oddechy) i pomiary nie posiadają artefaktów. Czasami czas trwania pomiarów jest uśredniony, np. do 20 sekund i zakodowany przez producenta w aparaturze.

W celu wykrycia artefaktów stosowane są **kryteria kontroli jakości**: (1) kontrola wzrokowa, (2) współczynnik zmienności (*coefficient of variation*, CoV), (3) automatyczna kontrola przetwarzanego sygnału (odrzuć pomiarów z artefaktami).

- Kontrola wzrokowa powinna odbywać się stale. Przed badaniem dotyczy przygotowania badanego do pomiaru, natomiast podczas badania dotyczy obserwacji zapisu wykresów objętości, przepływu i ciśnienia na ekranie monitora, co pozwala operatorowi zaakceptować pomiar lub odrzucić, po zidentyfikowaniu obecności tzw. artefaktów (błędów). Zapis objętości i prędkości przepływów podczas pomiarów powinien być równomierny. Przerwy w sygnale objętości, którym towarzyszy zerowy przepływ, nagłe zmiany lub skoki oporu i/lub ciśnienia, mogą oznaczać artefakty (błędy), spowodowane: połykaniem, wstrzymaniem oddechu, zamknięciem krtani /głośni, nieprawidłowym umieszczeniem języka lub nieszczelnym obejmowaniem ustnika ustami i przeciekami powietrza poza ustnik. Należy powtarzać pomiary, aż do zarejestrowania co najmniej trzech prób wolnych od artefaktów.
- Współczynnik zmienności (CoV) między poszczególnymi pomiarami nie powinien przekraczać 15% u dzieci i 10% u dorosłych. CoV wyliczany jest automatycznie przez aparat podczas pomiarów.
- Nowoczesne urządzenia posiadają narzędzia analityczne, które dokonują automatycznie kontroli przetwa-

Tabela 3. Interpretacja patologicznych wzorców oddychania oraz test odwracalności obturacji oskrzeli w oscylometrii

	REZYSTANCJA R			REAKTANCJA X		
	R5	R20	R5-20	X5	AX	Fres
OBTURACJA obwodowych dróg oddechowych	bardziej DODATNI ↑	Bardziej dodatni lub prawidłowy ↑	↑	bardziej UJEMNY ↓	↑	↑
OBTURACJA centralnych dróg oddechowych	bardziej DODATNI ↑	bardziej DODATNI ↑	norma	norma	norma	norma
OBTURACJA mieszana	bardziej DODATNI ↑	bardziej DODATNI ↑	↑	bardziej UJEMNY ↓	↑	↑
RESTRYKCJA podejrzenie	norma	norma	norma	bardziej UJEMNY ↓	↑	↑
Test odwracalności obturacji po salbutamol 400mg Punkt odcięcia dla wartości dodatnich	mniej dodatni ≥ 40%			mniej ujemny ≥ 50%	mniej dodatni ≥ 80%	

rzania sygnału, mogąc skorygować uzyskane wyniki pomiarów przez usunięcie fragmentów lub całych oddechów z artefaktami.

Koherencja nie jest już zalecana w celu wykluczenia wyników badań. Istnieją inne metody kontroli jakości przedstawione powyżej.

Interpretacja wyniku badania

Interpretacji wyników powinna być przeprowadzona przez wykwalifikowanego specjalistę, w kontekście klinicznym, uwzględniając wszystkie dostępne informacje o pacjencie. Dla zapewnienia prawidłowej interpretacji zaleca się przyjęcie systematycznego podejścia, które przedstawiono poniżej.

Interpretacja krok po kroku

1) Ocena jakości badania:

- Zweryfikuj liczbę pomiarów i oceń współczynnik zmienności (CoV), aby upewnić się co do wiarygodności (patrz rozdział dotyczący kontroli jakości pomiarów).

2) Ocena kształtu krzywych:

- Oceń wykresy przepływu, oporu i reaktancji w celu identyfikacji potencjalnych artefaktów lub nieprawidłowości (zob. rycinę 1, 2A–B).

3) Analiza wartości liczbowych:

- Oceń kluczowe parametry, w tym:
 - Opór: R_5 , R_{20} , R_{5-20} .
 - Reaktancja: X_5 , X_{20} .
 - Pole pod krzywą reaktancji: AX.
 - Częstotliwość rezonansowa: Fres.

4) Klasyfikacja wzorca:

- Określ, czy wyniki wskazują na prawidłowy czy nieprawidłowy wzorec oddechowy.

5) Integracja wyników z kontekstem klinicznym:

- Interpretuj zidentyfikowane wzorce, łącznie z wiadom medycznym pacjenta, danymi klinicznymi, wcześniejszymi wynikami oscylometrii (jeśli są dostępne) oraz innymi badaniami czynnościowymi płuc.

Wartości referencyjne

Wartości liczbowe uzyskane z pomiarów oscylometrycznych należy porównać z ustalonymi zakresami referencyjnymi, swoistymi dla wieku, wzrostu, płci biologicznej oraz rasy pacjenta. Urządzenia do oscylometrii automatycznie obliczają wartości należne (przewidywane), odsetek wartości należnej oraz z-score po wprowadzeniu danych pacjenta. Zaleca się stosowanie zakresów referencyjnych między -1,64 a +1,64 z-score. Zestawienie parametrów oscylometrii wykorzystywanych w ocenie przedstawiono w tabeli 3.

Kluczowe parametry:

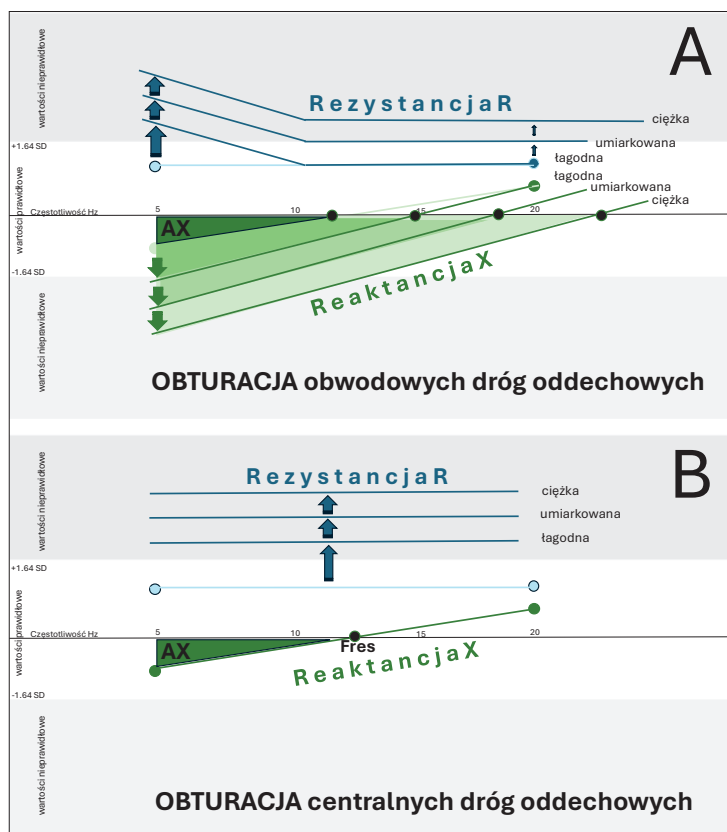
- R_5 : całkowity opór dróg oddechowych.
- R_{20} : opór proksymalnych (centralnych) dróg oddechowych.
- R_{5-20} : opór dystalnych (obwodowych) dróg oddechowych.
- X_5 : reaktancja przy 5 Hz, odzwierciedlająca sprężystość oraz funkcję obwodowych dróg oddechowych.
- AX: pole pod krzywą reaktancji, wskazujące całkowite obciążenie mechaniczne (składową reaktywną) układu oddechowego.
- Fres: częstotliwość rezonansowa, oznaczająca punkt, w którym reaktancja jest równa zero.

Wzorce kliniczne

Badanie z użyciem różnych częstotliwości fal dźwiękowych umożliwia ocenę oporu na różnych poziomach drzewa oskrzelowego. Rycina 1 przedstawia prawidłowy wzorec oddychania mierzony metodą oscylometrii. Wzorce patologiczne identyfikuje się na podstawie odchyień w wykresach lub kombinacji kluczowych wskaźników (ryc. 2A–B).

- Zwiększone wartości R:** opisywane jako „bardziej dodatnie”, wskazujące na zwiększony opór dróg oddechowych.
- Zmniejszone wartości X:** określane jako „bardziej ujemne”, odzwierciedlające osłabienie sprężystych właściwości płuc lub nasiloną dysfunkcję obwodowych dróg oddechowych.

To ustrukturyzowane podejście ułatwia kompleksową ocenę wyników oscylometrii w kontekście indywidualnych przypadków klinicznych.



Rycina 2. Graficzne przedstawienie obturacji centralnych i obwodowych dróg oddechowych

A. W obturacji obwodowych dróg oddechowych największej wzrasta wartość rezystancji R (wartości stają się bardziej dodatnie) i X (wartości stają się bardziej ujemne) dla częstotliwości 5 Hz.

B. W obturacji centralnych dróg oddechowych następuje symetryczne podniesienie krzywej rezystancji R (wartości stają się bardziej dodatnie) niezależnie od wartości częstotliwości, a krzywa reakcji X pozostaje bez zmian.

Najczęstsze błędy

Błędy mogą wystąpić na każdym etapie przygotowania sprzętu i/lub pacjenta do badania i/lub wynikać z niewłaściwej techniki oddychania podczas badania. Obejmują one:

- 1) nieodpowiednie przygotowanie sprzętu (brak kalibracji, niezamknięcie klapy z sitkiem w aparacie IOS),
- 2) nieodpowiednie wprowadzenie danych pacjenta do systemu (zamiana daty urodzenia, brak aktualnego wzrostu, masy ciała, zamiana danych masy ciała ze wzrostem),
- 3) nieodpowiednie przygotowanie pacjenta do badania lub brak współpracy ze strony pacjenta (brak klipsa na nos, nie szczelne obejmowanie ustnika ustami, brak przytrzymywania policzków dłońmi podczas badania, zamykanie oddechowych krtani i/lub przełykanie śliny podczas pomiarów, nieosiągnięcie stabilnych, odpowiednich objętości oddychania, wykonywanie natężonych manewrów oddechowych na wzór spirometrii zamiast spokojnego oddychania),
- 4) wykonanie oscylometrii bezpośrednio po badaniach wymagających głębokich oddechów (np. spirometria, pomiar tlenu azotu w powietrzu wydychanym, pojemność dyfuzyjna) lub po wysiłku fizycznym.

Niezmiennie rzadko, przy systematycznie powtarzających się błędach pomiaru, przyczyną może być awaria sprzętu (błędy w analizie i/lub przetwarzaniu sygnału, automatycznej kontroli jakości).

Zalecenia pozwalające uniknąć błędów

Aby zminimalizować ryzyko błędów, należy zapewnić:

- Prawidłową kalibrację oraz odpowiednie przygotowanie urządzenia do oscylometrii przed każdym badaniem.
- Dokładne i kompletne wprowadzenie danych pacjenta do systemu.
- Właściwe przygotowanie pacjenta, w tym prawidłowe ułożenie, zastosowanie klipsa na nos oraz instruktaż spokojnego oddychania w spoczynku (oddechów miarowych).
- Odpowiednie planowanie terminu badania tak, aby uniknąć wpływu wcześniejszych procedur diagnostycznych lub aktywności fizycznej na wynik.

- Regularną konserwację oraz kontrole jakości sprzętu w celu wykrywania i usuwania potencjalnych usterek technicznych.

Uwzględnienie tych najczęstszych problemów pozwala klinicystom uzyskać pomiary wysokiej jakości i wiarygodne wyniki badania.

Zastosowanie w praktyce klinicznej

Oscylometria może lepiej niż spirometria odzwierciedlać warunki oddychania w życiu codziennym, ponieważ pomiar odbywa się podczas swobodnego (bardziej fizjologicznego) oddychania, a nie podczas forsownych manewrów. Szczególne miejsce oscylometria znajduje u najmłodszych dzieci, ze względu na fakt, że mogą ją wykonać poprawnie już 3-letnie dzieci.

Mimo, że oscylometria nie znalazła miejsca w standardach dotyczących chorób oddechowych, to liczne badania wskazują na użyteczność oscylometrii jako czułego badania w diagnostyce i monitorowaniu niektórych chorób obturacyjnych i niektórych chorób restrykcyjnych układu oddechowego u dzieci [4, 7].

Wszystkie przedstawione poniżej zastosowania kliniczne oscylometrii nadal są badane.

Astma

Oscylometria może uzupełnić tradycyjną spirometrię w diagnostyce oraz monitorowaniu odpowiedzi na zastosowane leczenie w astmie. Oscylometria może szybciej niż spirometria uwidocznić zwężenie dróg oddechowych oraz odwracalność oskrzeli [7, 8]. Wyniki oscylometrii korelują z objawami astmy, spirometrią, zmianami odpowiedzi na leki rozszerzające oskrzela, testami prowokacji oskrzeli i leczeniem oraz przewidywaniem odpowiedzi na leczenie.

• Test odwracalności oskrzeli

Wartości odcięcia najbardziej odpowiadające istotnej odpowiedzi rozszerzającej oskrzela (*significant bronchodilator response*, BDR) to: spadek R_5 o 40%, wzrost X_5 o 50% i spadek AX w stosunku do wartości wyjściowej o 80%. Wartości BDR są jednakowe dla dzieci i osób dorosłych [3, 4].

- **Test nadreaktywności oskrzeli**

Oscylometria może być również stosowana jako uzupełnienie lub alternatywa dla spirometrii w teście prowokacji oskrzelowych u dzieci nawet od 3. r.ż. [9, 11].

Jednakże wartość progowa nadreaktywności oskrzeli (*airway hyperresponsiveness*, AHR) określająca dodatni test prowokacji oskrzeli nie została arbitralnie określona i była określana jako wzrost wartości R_s : od 20% do 50% i spadek wartości X_s : od 20% do 80% [3].

- **Odpowiedź na zastosowane leczenie**

Oscylometria może uzupełniać spirometrię w monitorowaniu odpowiedzi na leczenie w astmie. Wskaźniki: R , X i AX okazały się bardziej czułe niż spirometria i wykazywały różnice w odpowiedzi na leczenie:

- lekami rozszerzającymi oskrzela [12],
- wziewnymi kortykosteroidami (ICS) [13],
- montelukastem [14],
- lekiem łączonym ICS + długo działający β_2 -agonista (LABA) [15],
- mepolizumabem [16].

- **Przewidywanie zaostrzenia**

Oscylometria może być używana do przewidzenia zaostrzenia kontroli astmy u dzieci z astmą, gdy: $AX > 0.7$ kPa/L, $R_{5-20} > 0.1$ kPa/L/s [17].

Zarostowe zapalenie oskrzelików (*bronchiolitis obliterans*, BO)

Oscylometria okazała się czułą metodą wykrywającą zarostowe zapalenie oskrzelików:

- 1) u dzieci w poinfekcyjnym zapaleniu oskrzelików (zmiany w X są większe i szybsze w porównaniu ze spirometrią [18],
- 2) u dorosłych biorców przeszczepu płuc i szpiku kostnego w zespole zarostowego zapalenia oskrzelików (zmiany można wykryć wcześniej za pomocą oscylometrii niż za pomocą konwencjonalnej spirometrii [19, 20].

Dysplazja oskrzelowo-płucna

Oscylometria może być pomocna w rozpoznawaniu i monitorowaniu przebiegu klinicznego dysplazji oskrzelowo-płucnej. Występują wówczas zmiany typowe dla chorób obturacyjnych: wzrost R , bardziej ujemny X , wzrost AX i $Fres$ [21].

Mukowiscydoza (*cystic fibrosis*, CF)

Przydatność oscylometrii w CF jest niejasna i nadal badana ze względu na zróżnicowane wyniki otrzymywane przez poszczególnych badaczy oraz wobec faktu, że inne badania są rekomendowane do wykrywania wczesnej choroby płuc i monitorowania poprawy czynności płuc po interwencji w CF [22–26].

Otyłość

U osób z otyłością pomiary oscylometryczne wykazują charakterystyczne zmiany, w tym:

- Bardziej ujemne wartości X z powodu nasilonego zwężenia dróg oddechowych oraz zwiększonej sztywności ścian klatki piersiowej.
- Bardziej dodatnie wartości R , R_{5-20} oraz AX z powodu zmniejszonych objętości płuc i zwiększonego oporu dróg oddechowych [27, 28].

U dzieci z otyłością oscylometria może pomóc w różnicowaniu między „dysanapsją dróg oddechowych” (*airway dysanapsis*; obniżony wskaźnik FEV_1/FVC przy prawidłowych lub zwiększonych wartościach FEV_1 i FVC) a astmą [29, 30].

Choroby restrykcyjne

Przydatność oscylometrii w restrykcyjnych chorobach płuc pozostaje niejednoznaczna.

- **Śródmiąższowe choroby płuc u dzieci (chILDs)**

Pomimo rosnącego zainteresowania wykorzystaniem oscylometrii w diagnostyce, chILDs (*children interstitial lung diseases*), jej użyteczność kliniczna nie została dotychczas jednoznacznie potwierdzona, być może z powodu zróżnicowanej etiologii prowadzącej do uszkodzenia różnych struktur płuc, takich jak pęcherzyki płucne, tkanka śródmiąższowa czy naczynia płucne. Wzorzec oscylometryczny w śródmiąższowej chorobie płuc (ILD) może naśladować ten obserwowany w obturacyjnych chorobach płuc, potencjalnie z powodu zwiększonego oporu dróg oddechowych przy mniejszych objętościach płuc. Charakteryzuje się to bardziej dodatnimi wartościami R oraz bardziej ujemnymi wartościami X przy niskich częstotliwościach, co wskazuje na zwiększoną sprężystość [31].

- **Przetrwale tachypnoe niemowląt (PTI)/hiperplazja komórek neuroendokrynnych (NEHI)**

U dzieci z PTI/NEHI (*Persistent tachypnea of infancy/Neuroendocrine Cell Hyperplasia of Infancy*) stwierdzano wyższe wartości R_s i $Fres$ w porównaniu ze zdrowymi dziećmi [32].

- **Choroby nerwowo-mięśniowe**

Oscylometria jest badana jako potencjalne narzędzie do oceny czynności oddechowej u dzieci z zaburzeniami nerwowo-mięśniowymi. Jednak dostępne dane dotyczące jej wiarygodności i zastosowania w tej populacji są obecnie ograniczone i niejednoznaczne [33–35].

Dysfunkcja strun głosowych

Dysfunkcja strun głosowych (*vocal cord dysfunction*, VCD) może być spowodowana paradoksalnym wdechowym przewodzeniem strun głosowych lub zmniejszeniem podgłośniowego pola przekroju poprzecznego, wywołuje ostre objawy, które mogą być mylone z astmą. Zaleca się dokładne zbadanie zmian w trakcie poszczególnych oddechów podczas oddychania objętościami oddechowymi poszukując dużych dodatnich wahań podczas wdechu. Ze względu na występujące w warunkach fizjologicznych zwężenie krtani podczas wydechu różnice te są zwykle ujemne w grupie kontrolnej osób zdrowych lub osób z astmą stabilną i mogą wzmacniać się w ostrym zwężeniu oskrzeli [36].

Bezdech senny

Oscylometria może być użyteczna w diagnostyce obturacyjnego bezdechu sennego (OBS) i potwierdzić wzrost oporu górnych dróg oddechowych (spowodowanego zapadaniem się i ujemnym ciśnieniem w górnych dróg oddechowych podczas snu).

Jest także wykorzystywana do monitorowania normalizacji oporu dróg oddechowych po zastosowaniu ciągłego dodatniego ciśnienia w drogach oddechowych (CPAP) [37].

Inne zastosowania kliniczne oscylometrii

Narażenie środowiskowe i zawodowe

Oscylometria może być pomocna i uzupełniać spirometrię w wykrywaniu i monitorowaniu zaburzenia czynności płuc u osób narażonych na różne drażniące czynniki zawodowe lub środowiskowe. Wykazano m.in., że: wczesnodziecięce narażenie na zanieczyszczenia powietrza związane z pożarem kopalni węgla w okresie niemowlęcym wiązało się z późniejszymi następstwami oddechowymi [38], a u nastolatków narażonych

w niemowlęctwie na zanieczyszczenia powietrza związane z ruchem drogowym obserwowano w oscylometrii zmiany odpowiadające chorobie dystalnych dróg oddechowych [39, 40]. Ze względu na spokojne oddychanie podczas pomiarów oscylometria uważana jest za bezpieczniejszą metodę niż spirometria u osób z potencjalnym zakażeniem układu oddechowego [39].

Intensywna terapia

Oscylometria może być wykonywana przez obwód wentylacyjny, co u wentylowanych i krytycznie chorych pacjentów dostarczyło informacji na temat derekrutacji pęcherzyków płucnych, nadmiernego rozdęcia miąższu płuc i EFLT (*tidal expiratory flow limitation*). U dzieci i młodzieży, a szczególnie u skrajnych wcześniaków, oscylometria może być przydatna do zoptymalizowania ustawień respiratora [41–43].

Podsumowanie

1. Zasada podstawowa

Oscylometria ocenia odpowiedź układu oddechowego na bodziec akustyczny (oscyliczącą falę ciśnienia), co pozwala oszacować jego właściwości mechaniczne.

2. Interpretacja wzorców patologicznych

Nieprawidłowości zwykle mają postać odchyień w kluczowych parametrach oscylometrycznych, takich jak *R*, *X*, *AX* i *Fres*, lub widoczne są nieprawidłowości w odpowiadających im wykresach.

3. Zalety: nieinwazyjność i niewielkie wymagania dotyczące współpracy

Ze względu na nieinwazyjność i niewielkie wymagania co do współpracy pacjenta oscylometria jest użyteczna dla dzieci od 3. roku życia oraz dla osób słabo współpracujących. Warunkiem koniecznym jest szczelne objęcie ustnika ustami i spokojne, swobodne oddychanie.

4. Zastosowanie kliniczne i ograniczenia

Choć nie ma jednoznacznych zaleceń rekomendujących oscylometrię w diagnostyce i monitorowaniu chorób płuc u dzieci, rosnące dane potwierdzają jej przydatność. Oscylometria może być szczególnie wartościowa w rozpoznawaniu i monitorowaniu przebiegu chorób obturacyjnych, takich jak astma, dysplazja oskrzelowo-płucna (BPD) oraz zarostowe zapalenie oskrzelików.

Źródło finansowania: praca nie finansowana ze źródeł zewnętrznych. Konflikt interesów: Autorzy nie zgłaszają konfliktu interesów.

Piśmiennictwo

- Graham BL, Steenbruggen I, Miller MR, et al. Standardization of Spirometry 2019 Update. An Official American Thoracic Society and European Respiratory Society Technical Statement. *Am J Respir Crit Care Med* 2019; 200(8): e70–e88, doi: 10.1164/rccm.201908-1590ST.
- Kaczka DW, Dellacá RL. Oscillation mechanics of the respiratory system: applications to lung disease. *Crit Rev Biomed Eng* 2011; 39: 337–359.
- King GG, Bates J, Berger KI, et al. Technical standards for respiratory oscillometry. *Eur Respir J* 2020; 55: 1900753, doi: 10.1183/13993003.00753-2019.
- Kaminsky DA, Simpson SJ, Berger KI, et al. Clinical significance and applications of oscillometry. *Eur Respir Rev* 2022; 31: 210208, doi: 10.1183/16000617.0208-2021.
- King GG, Bates J, Berger KI, et al. Znaczenie kliniczne i zastosowanie oscylometrii. *Pneum Pol* 2023; 4(4): 115–134 (in Polish).
- Kaminsky DA, Simpson SJ, Berger KI, et al. Standardy techniczne dla oscylometrii. *Pneum Pol* 2023; 4(2–3): 47–69 (in Polish).
- Evans DJ, Schultz A, Verheggen M, et al. Identifying pediatric lung disease: a comparison of forced oscillation technique outcomes. *Pediatr Pulmonol* 2019; 54: 751–758.
- Rutting S, Badal T, Wallis R, et al. Long-term variability of oscillatory impedance in stable obstructive airways disease. *Eur Respir J* 2021; 58: 2004318.7.
- Kalliola S, Malmberg LP, Kajosaari M, et al. Assessing direct and indirect airway hyperresponsiveness in children using impulse oscillometry. *Ann Allergy Asthma Immunol* 2014; 113: 166–172.
- Salvi S, Ghorpade D, Vanjare N, et al. Interpreting lung oscillometry results: Z-scores or fixed cut-off values? *ERJ Open Res* 2023; 9: 00656-2022, doi: 10.1183/23120541.00656-2022.
- Wong MD, Condon K, Robinson PD, et al. Assessment of bronchodilator response in preschoolers: A systematic review. *Pediatr Pulmonol* 2024; 59: 2732–2747.
- Hoshino M. Comparison of effectiveness in ciclesonide and fluticasone propionate on small airway function in mild asthma. *Allergol Int* 2010; 59: 59–66.
- Yamaguchi M, Niimi A, Ueda T, et al. Effect of inhaled corticosteroids on small airways in asthma: investigation using impulse oscillometry. *Pulm Pharmacol Ther* 2009; 22: 326–332.
- Moeller A, Lehman A, Knauer N, et al. Effects of montelukast on subjective and objective outcome measures in preschool asthmatic children. *Pediatr Pulmonol* 2008; 43: 179–186.
- Hozawa S, Terada M, Hozawa M. Comparison of budesonide/formoterol Turbuhaler with fluticasone/salmeterol Diskus for treatment effects on small airway impairment and airway inflammation in patients with asthma. *Pulm Pharmacol Ther* 2011; 24: 571–576.
- Antonicelli L, Tontini C, Marchionni A, et al. Forced oscillation technique as method to document and monitor the efficacy of mepolizumab in treating severe eosinophilic asthma. *Allergy* 2020; 75: 433–436.
- Shi Y, Aledia AS, Galant SP, et al. Peripheral airway impairment measured by oscillometry predicts loss of asthma control in children. *J Allergy Clin Immunol* 2013; 131(3): 718–723, doi: 10.1016/j.jaci.2012.09.022.
- Lee E, Yoon J, Cho HJ, et al. Respiratory reactance in children aged three to five years with postinfectious bronchiolitis obliterans is higher than in those with asthma. *Acta Paediatr* 2017; 106: 81–86.
- Cho E, Wu JKY, Birriel DC, et al. Airway oscillometry detects spirometric-silent episodes of acute cellular rejection. *Am J Respir Crit Care Med* 2020; 201: 1536–1544.
- Ochman M, Wojarski J, Wiolek A, et al. Usefulness of the impulse oscillometry system in graft function monitoring in lung transplant recipients. *Transplant Proc* 2018; 50: 2070–2074.
- Vrijlandt EJ, Boezen HM, Gerritsen J, et al. Respiratory health in prematurely born preschool children with and without bronchopulmonary dysplasia. *J Pediatr* 2007; 150: 256–261.
- Kerby GS, Rosenfeld M, Ren CL, et al. Lung function distinguishes preschool children with CF from healthy controls in a multi-center setting. *Pediatr Pulmonol* 2012; 47: 597–605.
- Gangell CL, Horak F, Patterson HJ, et al. Respiratory impedance in children with cystic fibrosis using forced oscillations in clinic. *Eur Respir J* 2007; 30: 892–897.
- Moreau L, Crenesse D, Berthier F, et al. Relationship between impulse oscillometry and spirometric indices in cystic fibrosis children. *Acta Paediatr* 2009; 98: 1019–1023.

25. Ramsey KA, Ranganathan SC, Gangell CL, et al. Impact of lung disease on respiratory impedance in young children with cystic fibrosis. *Eur Respir J* 2015; 46: 1672–1679.
26. Wojsyk-Banaszak I, Więckowska B, Szczepankiewicz A, et al. MRI and Pulmonary Function Tests' Results as Ventilation Inhomogeneity Markers in Children and Adolescents with Cystic Fibrosis. *J Clin Med* 2023; 12: 5136, doi: 10.3390/jcm12155136.
27. Mahadev S, Salome CM, Berend N, et al. The effect of low lung volume on airway function in obesity. *Respir Physiol Neurobiol* 2013; 188: 192–199.
28. Salome CM, King GG, Berend N. Physiology of obesity and effects on lung function. *J Appl Physiol* 2010; 108: 206–211.
29. Forno E, Weiner DJ, Mullen J, et al. Obesity and airway dysanapsis in children with and without asthma. *Am J Respir Crit Care Med* 2017; 195: 314–323.
30. Jones MH, Roncada C, Fernandes MTC, et al. Asthma and obesity in children are independently associated with airway dysanapsis. *Front Pediatr* 2017; 5: 270.
31. Matesanz-López C, Raboso-Moreno B, Saldaña-Pérez LE, et al. Is Lung Function Measured by Oscillometry Useful in Interstitial Lung Diseases? *Open Respir Arch* 2023; 6(1): 100278, doi: 10.1016/j.opresp.2023.100278.
32. Marczak H, Peradzińska J, Lange J, et al. Pulmonary function in children with persistent tachypnea of infancy. *Pediatr Pulmonol* 2023; 58(1): 81–87, doi: 10.1002/ppul.26162.
33. De Troyer A, Borenstein S, Cordier R. Analysis of lung volume restriction in patients with respiratory muscle weakness. *Thorax* 1980; 35: 603–610.
34. Veldhoen ES, Roos JH, Bekkema R, et al. Oscillometry: a substitute of spirometry in children with neuromuscular diseases? *Pediatr Pulmonol* 2022; 57(7): 1618–1624, doi: 10.1002/ppul.25923.
35. Allen J. Pulmonary complications of neuromuscular disease: a respiratory mechanics perspective. *Paediatr Respir Rev* 2010; 11: 18–23.
36. Komarow HD, Young M, Nelson C, et al. Vocal cord dysfunction as demonstrated by impulse oscillometry. *J Allergy Clin Immunol Pract* 2013; 1: 387–393.
37. Cao J, Que C, Wang G, et al. Effect of posture on airway resistance in obstructive sleep apnea-hypopnea syndrome by means of impulse oscillation. *Respiration* 2009; 77: 38–43.
38. Shao J, Zosky GR, Hall GL, et al. Early life exposure to coal mine fire smoke emissions and altered lung function in young children. *Respirology* 2020; 25: 198–205.
39. Schultz ES, Hallberg J, Gustafsson PM, et al. Early life exposure to traffic-related air pollution and lung function in adolescence assessed with impulse oscillometry. *J Allergy Clin Immunol* 2016; 138: 930–932.
40. Gupta N, Sachdev A, Gupta D. Oscillometry – A reasonable option to monitor lung functions in the era of COVID-19 pandemic. *Pediatr Pulmonol* 2021; 56: 14–15.
41. Dellaca RL, Veneroni C, Vendettuoli V, et al. Relationship between respiratory impedance and positive end-expiratory pressure in mechanically ventilated neonates. *Intensive Care Med* 2013; 39: 511–519.
42. Peterson-Carmichael S, Seddon PC, Cheifetz IM, et al. An official American Thoracic Society/European Respiratory Society workshop report: evaluation of respiratory mechanics and function in the pediatric and neonatal intensive care units. *Ann Am Thorac Soc* 2016; 13: S1–S11.
43. Zannin E, Ventura ML, Dellaca RL, et al. Optimal mean airway pressure during high-frequency oscillatory ventilation determined by measurement of respiratory system reactance. *Pediatr Res* 2014; 75: 493–499.

Tabele: 3

Ryciny: 3

Piśmiennictwo: 43

Adres do korespondencji:

Dr hab. med. Eliza Wasilewska

Klinika Alergologii

Gdański Uniwersytet Medyczny

Gdańsk

E-mail: ewasilewska@gumed.edu.pl

Zaakceptowano do druku: 11.03.2025 r.