

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 układu oddechowego u dzieci:
test wypłukiwania gazu obojętnego metodą wielokrotnych
oddechów (ang. *multiple breath washout*, MBW).
Stanowisko Polskiego Towarzystwa Pneumonologii Dziecięcej
(STAN PNEUMO: MBW)

Przedruk



2025

October–December

Vol. 27, No. 4

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 układu oddechowego u dzieci:
test wypłukiwania gazu obojętnego metodą wielokrotnych
oddechów (ang. *multiple breath washout*, MBW).
Stanowisko Polskiego Towarzystwa Pneumonologii Dziecięcej
(STAN PNEUMO: MBW)

Przedruk

2025

October–December

Vol. 27, No. 4

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-Górska, 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 Okręglička, 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 Okręglička, 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 układu oddechowego u dzieci: test wypłukiwania gazu obojętnego metodą wielokrotnych oddechów (ang. *multiple breath washout*, MBW). Stanowisko Polskiego Towarzystwa Pneumonologii Dziecięcej (STAN PNEUMO: MBW)

KATARZYNA WALICKA-SERZYSKO^{1, 2, A, B, D-F}, MAGDALENA POSTEK^{1, 2, A, B, D-F},
ORCID ID: 0000-0002-6496-8737 ORCID ID: 0000-0002-1678-3316

ELIZA WASILEWSKA^{3, 4, A, B, D-F}, JOANNA PERADZYŃSKA^{5, A, B, D-F}, KATARZYNA KRENKE^{6, A, B, D-F},
ORCID ID: 0000-0002-5288-0586

ZBIGNIEW DONIEC^{7, 8, A, B, D-F}, IRENA WOJSYK-BANASZAK^{9, A, B, D-F}
ORCID ID: 0000-0003-3896-1053

¹ Klinika Mukowiscydozy, Instytut Matki i Dziecka, Warszawa, Polska

² Centrum Leczenia Mukowiscydozy, SZPZOZ im. Dzieci Warszawy, Dziekanów Leśny, Polska

³ Klinika Alergologii, Gdański Uniwersytet Medyczny, Gdańsk, Polska

⁴ Pracownia Badań Czynnościowych Układu Oddechowego dla Dzieci i Młodzieży, Uniwersyteckie Centrum Kliniczne, Gdańsk, Polska

⁵ Zakład Epidemiologii i Biostatystyki, Warszawski Uniwersytet Medyczny, Warszawa, Polska

⁶ Klinika Pneumonologii i Alergologii Wieku Dziecięcego, Warszawski Uniwersytet Medyczny, Warszawa, Polska

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

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

⁹ Klinika Pneumonologii, Alergologii Klinicznej i Immunologii Dziecięcej, Uniwersytet Medyczny im. Karola Marcinkowskiego w Poznaniu, Poznań, Polska

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

Streszczenie Badanie wypłukiwania gazu obojętnego metodą wielokrotnych oddechów (ang. *multiple breath washout*, MBW) jest czułą metodą wykrywania wczesnych zaburzeń funkcji płuc w oparciu o ocenę dystrybucji wentylacji. Nie wymaga wykonywania natężonych manewrów oddechowych, może być więc przeprowadzane u małych dzieci oraz u osób słabo współpracujących. Test MBW znalazł zastosowanie w wykrywaniu wczesnych zmian o charakterze odwracalnym, związanych z miejscowym stanem zapalnym i zaleganiem śluzu, jak również zmian nieodwracalnych, powstałych w wyniku włóknienia i postępującej destrukcji miąższu płucnego w przebiegu chorób obwodowych dróg oddechowych.

Dostępność urządzeń komercyjnych ułatwiła wdrożenie metody MBW do badań naukowych oraz coraz częstsze jej wykorzystywanie w rutynowej praktyce klinicznej. Niniejszy artykuł przedstawia stanowisko Polskiego Towarzystwa Pneumonologii Dziecięcej dotyczące techniki badania, interpretacji wyników oraz możliwości wykorzystania testu MBW.

Słowa kluczowe: badania czynnościowe układu oddechowego, pulmonologia, dziecko.

Summary The multiple breath washout (MBW) test is a highly sensitive method for detecting early abnormalities in pulmonary function through the assessment of ventilation distribution. As it does not rely on forced respiratory maneuvers, MBW can be successfully performed in young children and individuals with limited ability to cooperate. This technique is particularly valuable in identifying both early, reversible changes caused by localized inflammation and mucus retention, as well as irreversible structural damage resulting from fibrosis and progressive destruction of the lung parenchyma in peripheral airway diseases.

The growing availability of commercial MBW devices has facilitated its adoption in clinical research and contributed to its increasing integration into routine clinical practice. This position statement by the Polish Society of Pediatric Pulmonology outlines the technical aspects of the MBW procedure, guidance for interpreting test results, and potential clinical applications.

Key words: respiratory function tests, pulmonary medicine, child.

Wersja polskojęzyczna artykułu: Walicka-Serzysko K, Postek M, Wasilewska E, Peradzyńska J, Krenke K, Doniec Z, Wojsyk-Banaszak I. Pulmonary function test in children: Multiple Breath Washout (MBW) – a position statement of the Polish Society of Pediatric Pulmonology (STAN PNEUMO: MBW). *Fam Med Prim Care Rev* 2025; 27(4): 483–489, doi: <https://doi.org/10.5114/fmpcr.2025.153099>.



Wstęp

Ocena funkcji płuc z wykorzystaniem **techniki wypłukiwania gazu obojętnego (inert-gas washout, IGW)** została po raz pierwszy opisana w 1952 roku przez dr Margaret Becklake. Jednak zainteresowanie tą metodą ze strony producentów, klinicystów i badaczy zyskało na znaczeniu dopiero w ciągu ostatnich 20 lat. Pomiar IGW może być wykonywany w systemie zamkniętego lub otwartego obiegu gazu; **podczas jednego oddechu (single-breath washout, SBW)** lub **serii wielokrotnych oddechów (multiple breath washout, MBW)**. Obecnie najczęściej stosowaną techniką jest badanie MBW.

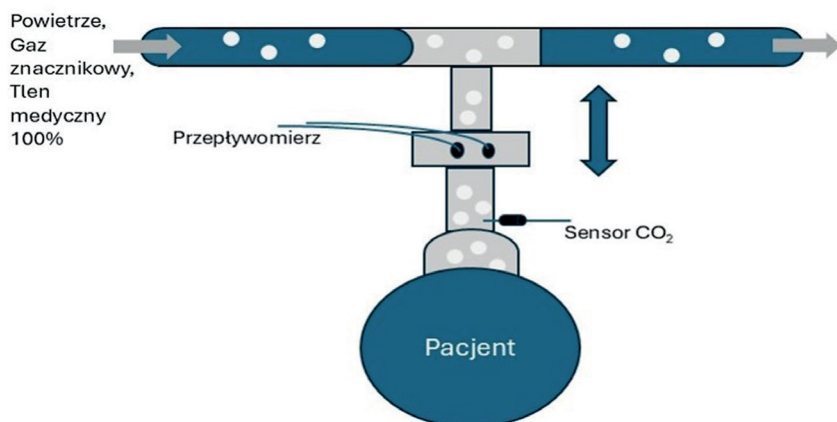
Badanie MBW jest czułą metodą wykrywania wczesnych zaburzeń funkcji płuc w oparciu o ocenę dystrybucji wentylacji gazów znacznikowych. Ze względu na wymaganą minimalną współpracę z pacjentem charakteryzuje się większą łatwością wykonania w różnych grupach wiekowych, jak również większą czułością w wykrywaniu wczesnych zaburzeń w porównaniu do standardowych badań czynnościowych układu oddechowego, takich jak spirometria [1, 2]. Test MBW znalazł zastosowanie w wykrywaniu wczesnych zmian prowadzących do zaburzeń przepływu powietrza w drogach oddechowych (stan zapalny,

zaleganie wydzieliny) oraz włóknienia, postępującej destrukcji miąższu płucnego w chorobach obwodowych dróg oddechowych. Stał się on jednym z podstawowych badań używanych do monitorowania choroby oskrzelowo-płucnej w przebiegu mukowiscydozy [3–5].

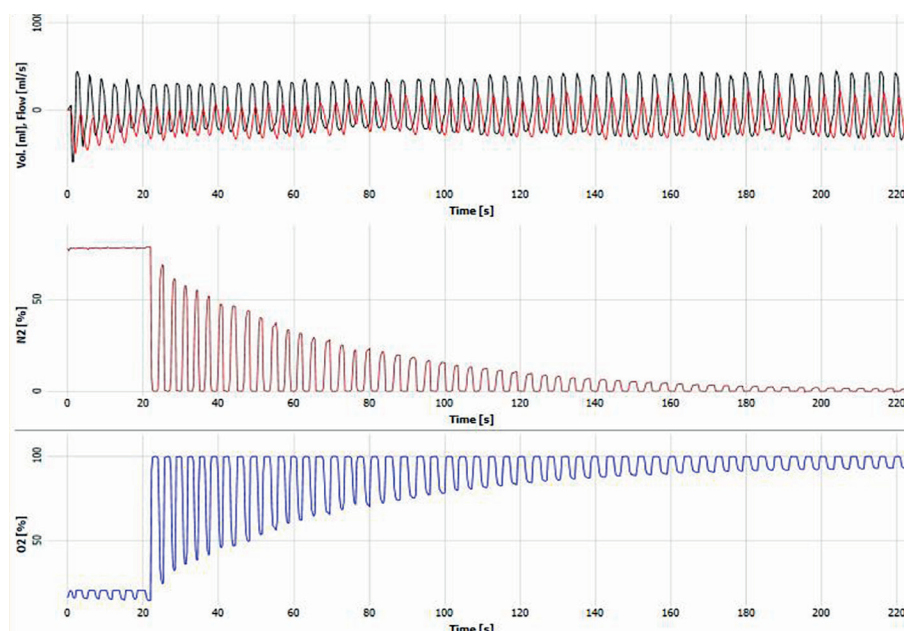
Coraz większa dostępność urządzeń do MBW ułatwiła wdrożenie tej metody nie tylko do badań naukowych, ale także do codziennej praktyki klinicznej. Spowodowało to potrzebę opracowania przez Polskie Towarzystwo Pneumonologii Dziecięcej standardów, w których zostały opisane podstawy techniczne, zasady wykonywania, interpretacji wyników oraz możliwości zastosowania testu MBW.

Techniczne podstawy badania MBW

Test MBW polega na pomiarze stężenia wypłukiwanego gazu znacznikowego podczas spokojnego oddychania. W badaniu wykorzystywane są gazy znacznikowe trudno rozpuszczalne w krwi o niskim powinowactwie do tkanek, takie jak gazy endogenne, np. azot (N_2), oraz gazy egzogenne, np. heksafluorek siarki (SF_6). Gazy egzogenne muszą być najpierw wdychane (faza inhalacji), zanim zostaną wypłukane podczas oddychania powie-



Rycina 1. Schemat testu wypłukiwania azotu metodą wielokrotnych oddechów (*multiple breath nitrogen washout, N_2 MBW*)



Rycina 2. Wykres zmian stężeń N_2 , O_2 podczas testu wypłukiwania azotu metodą wielokrotnych oddechów (*multiple breath nitrogen washout, N_2 MBW*)

trzem atmosferycznym. Gazy endogenne natomiast nie wymagają fazy inhalacji i są wypłukiwane podczas oddychania 100% tlenem [6]. U niemowląt do tej pory był stosowany SF₆, który jednak jako gaz cieplarniany zgodnie z Dyrektywą EU zostaje wycofywany z użycia [7].

Obecnie najczęściej stosowanym gazem jest **azot** wchodzący w skład powietrza atmosferycznego (N₂), który jest wypłukiwany za pomocą 100% tlenu.

Zgodnie z najnowszymi standardami Europejskiego Towarzystwa Oddechowego (*European Respiratory Society*, ERS), największe zastosowanie w populacji pediatrycznej ma **test wypłukiwania azotu metodą wielokrotnych oddechów** (*multiple breath nitrogen washout*, N₂MBW), dlatego dalsza część artykułu będzie dotyczyła tej metody [8].

W badaniu N₂MBW pacjent w fazie inhalacji oddycha powietrzem atmosferycznym przez ustnik lub maskę twarzową do momentu ustabilizowania oddechu, a następnie przechodzi do fazy wypłukiwania, podczas której oddycha 100% tlenem. W tej fazie gaz znacznikowy (azot) zostaje stopniowo wypłukiwany. Zakończenie badania następuje wtedy, gdy stężenie gazu znacznikowego w powietrzu wydychanym osiągnie 1/40 wartości stężenia początkowego, co odpowiada wskaźnikowi klirensu płucnego (*lung clearance index*, LCI) równemu 2,5%.

Test ocenia jednorodność wentylacji przez pomiar efektywności usuwania z płuc obojętnego gazu znacznikowego podczas serii oddechów. Na rycinie 1 przedstawiono schemat urządzenia do wykonywania badania N₂MBW. Początkowe stężenie w pęcherzykach płucnych i ilość wypłukanego gazu znacznikowego wykorzystuje się do obliczenia objętości płuc na początku wypłukiwania (oddech bezpośrednio poprzedzający wypłukiwanie). Wykresy zmiany stężeń gazów podczas N₂MBW ilustruje rycina 2.

Parametrami ocenianymi w badaniu N₂MBW są:

- **LCI – wskaźnik klirensu płucnego**, główny parametr odzwierciedlający nieprawidłowości w homogenności wentylacji płuc. LCI dostarcza informacji o tym, ile razy objętość gazu w płucach musi być wymieniona, aby doprowadzić do zmniejszenia stężenia gazu znacznikowego do 1/40 (2,5%) wartości wyjściowej. Wyrażany jest on jako iloraz całkowitej objętości gazu wydychanej podczas testu (*Cumulative Expired Volume*, CEV) i czynnościowej pojemności zalegającej (*Functional Residual Capacity*, FRC):

$$LCI = CEV / FRC.$$

- **FRC – czynnościowa pojemność zalegająca**, czyli objętość gazu, która pozostaje w płucach po wykonaniu spokojnego wydechu.

Mniejsze znaczenie mają inne wskaźniki takie jak S_{cond} (*phase III slope index of conductive ventilation inhomogeneity* – **wskaźnik zaburzeń wentylacji w strefie przewodzącej proksymalnej do oskrzelików końcowych**) czy S_{acin} (*phase III slope index of acinar ventilation inhomogeneity* – **wskaźnik zaburzeń wentylacji w obszarze gronka**). Ze względu na brak standaryzacji nie stosuje się ich rutynowo do interpretacji wyników.

Zasady wykonywania MBW

Należy przestrzegać zasad wykonywania badania N₂MBW. W tabeli 1 przedstawiono, w jaki sposób należy przygotować sprzęt, pacjenta i jak przeprowadzić pomiar.

Tabela 1. Opis pomiaru N ₂ MBW	
Informacje o technice przeprowadzenia badania N ₂ MBW	
	Przygotowanie sprzętu i pomieszczenia do badania Sprzęt należy włączyć, uzyskać odpowiednią temperaturę i przygotować do badania. Należy przeprowadzić kalibrację przepływów oraz kalibrację stężenia gazów zgodnie z zaleceniami producenta.
	 Przygotowanie osoby badanej • Pozycja podczas badania: siedząca, stabilna z plecami wyprostowanymi, z nogami w miarę możliwości opartymi o podłoże. • Pacjent w zależności od wieku i możliwości oddycha przez ustnik z założonym klipsem na nos lub przez maskę (dobrze dopasowany ustnik lub maska z kołnierzem obejmująca usta i nos powinny zapobiec przeciekowi powietrza). • Oddechy powinny być spokojne i równe. Pacjent nie powinien wykonywać złożonych manewrów oddechowych (śmiech, głębokie wdechy, rozmowa), aby utrzymać prawidłowy tor oddychania, w przypadku młodszych dzieci zalecane jest oglądanie spokojnych bajek [7].
 Informacje dla osób wykonujących badanie Przed pomiarem: • Należy zapewnić przyjazną atmosferę pozwalającą na prawidłowe wykonanie badania. • Wprowadzić dane badanego (w tym aktualną masę i wysokość ciała). • Poinformować badanego o technice oddychania oraz sposobie umieszczania ustnika i klipsa na nos lub maseczki z kołnierzem u młodszych dzieci. • Skontrolować, czy nie ma nieszczelności w miejscu obejmowania ustnika ustami, czy użyto klipsa na nos i czy osiągnięto stabilne, odpowiednie objętości oddechowe. Fazy pomiaru Faza inhalacji – pacjent oddycha gazem znacznikowym (w badaniu N₂MBW jest to azot, dlatego pacjent oddycha powietrzem atmosferycznym zawierającym 78,084% N₂ i nie ma potrzeby inhalowania dodatkowymi gazami). Faza oddychania powietrzem zwykle trwa około 30–60 sekund. W tym czasie pacjent przyzwyczaja się do aparatury i osiąga stabilną końcowo-wydechową objętość płuc. Przełączanie do fazy wypłukiwania następuje automatycznie po uzyskaniu stabilnej FRC. Faza wypłukiwania – system przełączony zostaje na podawanie 100% O₂, którym pacjent oddycha, a gaz znacznikowy zostaje stopniowo wypłukiwany, aż do osiągnięcia wartości LCI 2,5%. Osiągnięcie tego parametru wymagane jest przez co najmniej trzy kolejne oddechy.	

Tabela 1. Opis pomiaru N₂ MBWInformacje o technice przeprowadzenia badania N₂ MBW

- Zakończenie badania następuje po uzyskaniu co najmniej dwóch wyników nieróżniących się od siebie o więcej niż 5% lub 10% w przypadku wykonania trzech prób (wskazane jest wykonywanie trzech poprawnych prób).
- Pomiedzy poszczególnymi pomiarami zalecany jest okres przerwy wynoszący co najmniej dwukrotność czasu wyplukiwania. W przypadku pacjentów z ciężką chorobą płuc (np. rozedmą) mogą być wymagane dłuższe okresy przerwy [9].

Podczas pomiaru należy monitorować:

- szczelność ustnika/maseczki, aby uniknąć przecieku powietrza;
- sposób oddychania, tak by został zachowany prawidłowy tor oddychania w trakcie całego badania dla zapewnienia prawidłowego, stabilnego pomiaru FRC;
- stężenie gazu znacznikowego podczas wyplukiwania w czasie rzeczywistym; nagły duży wzrost stężenia gazu znacznikowego podczas wydechu może wskazywać na nieuszczelnienie układu i badanie należy przerwać;
- pomiar stężenia CO₂ na końcu wydechu, powinien pozostać w zakresie 4–6%, aby wykluczyć istotną hipo- lub hiperwentylację.

Wskazania i przeciwwskazania

Wskazania:

1. Wczesne wykrywanie chorób obwodowych dróg oddechowych:

Pozwala na stwierdzenie zaburzeń dystrybucji wentylacji, zanim nastąpi zauważalny spadek wartości FEV₁.

Jest stosowany w diagnostyce wczesnej choroby płuc, głównie w przebiegu mukowiscydozy, jak również coraz częściej pomocniczo w rozpoznawaniu innych chorób obturacyjnych, jak astma i przewlekła obturacyjna choroba płuc (POChP).

2. Monitorowanie progresji chorób układu oddechowego:

Test MBW jest wykorzystywany do oceny czynnościowej układu oddechowego u pacjentów z chorobami przewlekłymi, takimi jak mukowiscydoza [6–8], astma [10] czy POChP [11].

3. Ocena skuteczności leczenia:

Test MBW może być stosowany do monitorowania terapii, szczególnie w przewlekłych chorobach płuc, takich jak mukowiscydoza, astma, rozstrzenia oskrzeli, czy POChP [12, 13].

4. Ocena funkcji płuc u dzieci i dorosłych słabo współpracujących:

Test MBW jest przeprowadzany podczas spokojnego oddychania, co czyni go szczególnie przydatnym w badaniu małych dzieci oraz pacjentów z ograniczoną zdolnością do wykonywania natężonych manewrów oddechowych, wymaganych m.in. podczas spirometrii [1].

Przeciwwskazania:

1. Brak współpracy.
2. Ciężki stan kliniczny pacjenta, w tym duszność.
3. Objawy ze strony przewodu pokarmowego, np. nudności, wymioty.
4. Stany uniemożliwiające prawidłowe wykonanie badania (np. uporczywy kaszel) i jego interpretację (perforacja błony bębenkowej, tympanostomia).

Kryteria poprawności wykonania

O poprawności wykonania badania MBW decyduje wiele czynników, dlatego ważne jest spełnienie kryteriów kontroli jakości i powtarzalności, wpływających na akceptowalność lub użyteczność pomiarów. Kalibracja urządzenia w zakresie warunków pomiarowych/środowiskowych, przepływów, stężeń gazów oraz synchronizacji sygnałów powinna być wykonana zgodnie z zaleceniami producenta.

Kontrola jakości

- Przed badaniem każdego pacjenta stężenie gazu znacznikowego powinno mieścić się w granicach $\pm 0,5\%$ oczekiwanego odczytu wyjściowego (np. 78,08% dla N₂ w otaczającym powietrzu).
- Analizatory przepływu (np. pneumotachografy, przepływomierze ultradźwiękowe, turbiny itp.) wbudowane w obwody do pomiaru przepływu gazów powinny

charakteryzować się dokładnością przepływu w granicach $\pm 5\%$ w całym zakresie przepływów oraz dokładnością objętościową w granicach $\pm 3\%$.

- Właściwości analizatora gazów powinny zapewniać liniowy i dokładny sygnał gazu zgodny z aktualnymi wytycznymi ERS/ATS [9].

Powtarzalność

- Operatorzy powinni dążyć do uzyskania trzech prób, z czego co najmniej dwóch technicznie akceptowalnych, zgodnych z zaleceniami ERS dotyczących techniki IGW, opisanych w tabeli 1.
- Spokojne oddychanie może być zmienne u małych dzieci poniżej 7. r.ż., dlatego zaleca się łagodniejsze kryteria powtarzalności testu. Dokładność pomiaru objętości oddechowej powinna mieścić się w granicach $\pm 3\%$ lub ± 5 ml, w zależności od tego, która wartość jest większa. Należy podkreślić, że trudne jest uzyskanie akceptowalnych manewrów szczególnie u najmłodszych dzieci [9].

Kryteria pomiarów nieakceptowalnych i nieużytecznych podczas testu wyplukiwania gazu obojętnego metodą wielokrotnych oddechów (MBW) na podstawie charakterystyki oddychania przed i podczas fazy wyplukiwania według standardów ERS/ATS:

1. **Przed fazą wyplukiwania (odnoszą się do ostatnich trzech oddechów przed fazą wyplukiwania):**
 - niestabilna objętość płuc na końcu wydechu (np. wzrost końcowo-wydechowej objętości płuc),
 - bardzo nieregularny przepływ podczas spokojnego lub natężonego oddychania lub hiperwentylacji (CO₂ poza zakresem 4–6%),
 - westchnienie, kaszel lub zatrzymanie oddechu.
2. **Podczas fazy wyplukiwania (odnoszą się do wszystkich oddechów podczas fazy wyplukiwania, aż do spełnienia kryteriów końca testu):**
 - westchnienie, kaszel lub zatrzymanie oddechu podczas pierwszego oddechu fazy wyplukiwania,
 - westchnienie, kaszel lub zatrzymanie oddechu w pozostałej części fazy wyplukiwania, prowadzące do wzrostu stężenia gazu znacznikowego na końcu wydechu, co może wskazywać na uwolnienie uwięzionego gazu z niewentylowanych obszarów płuc,
 - istotne zmiany objętości płuc na końcu wydechu podczas wyplukiwania, prowadzące do wzrostu stężenia gazu znacznikowego na końcu wydechu,
 - bardzo nieregularny przepływ podczas spokojnego lub natężonego oddychania lub hiperwentylacji (CO₂ poza zakresem 4–6%),
 - oznaki przecieku powietrza,
 - kryteria końca testu nie zostały spełnione: manewr nie ma trzech kolejnych spokojnych oddechów poniżej docelowego stężenia gazu znacznikowego.
3. **Inne kryteria:**
 - niewystarczający czas przerwy między manewrami MBW na ponowne wyrównanie stężeń gazów,

krótszy niż dwukrotność czasu wypłukiwania lub końcowe stężenie gazu znacznikowego nie powróciło do poziomu wyjściowego [9].

Interpretacja wyników

Podobnie jak w przypadku innych badań czynnościowych układu oddechowego wyniki powinny być zawsze interpretowane w kontekście obrazu klinicznego (objawów, wyników innych badań, w tym badań obrazowych) [1].

Krok 1:

Przed interpretacją należy potwierdzić, że test MBW spełnia wymagane kryteria techniczne (patrz Kryteria poprawności wykonania).

Krok 2:

Należy ocenić parametry LCI i FRC w odniesieniu do wartości referencyjnych.

Wartości referencyjne:

Opracowano równania referencyjne dla wszystkich grup wiekowych dla wskaźników LCI i FRC (wg metodologii *Global Lung Function Initiative*, GLI). Rodzaj sprzętu, gazu znacznikowego oraz objętości przestrzeni martwej sprzętu nie mają znaczącego wpływu na równania predykcyjne dla LCI i FRC. Wartości należne LCI zależą od wieku, a FRC od płci, wysokości ciała i wieku [8].

Krok 3:

Należy monitorować wartości LCI i FRC w czasie, aby sprawdzić, czy zmiany w funkcji płuc są związane z istotnymi klinicznymi zdarzeniami. Za klinicznie istotną zmianę LCI uważa się zmienność powyżej 15% [2, 14, 15].

Uwaga!

Test MBW może być trudny lub niemożliwy do wykonania i interpretacji u pacjentów z zaawansowaną chorobą płuc (ppFEV₁ < 60%) ze względu na dużą heterogenność wentylacji i przedłużone fazy inhalacji i wypłukiwania.

Najczęstsze błędy

Na każdym etapie przygotowania do testu MBW, jego wykonania i interpretacji mogą wystąpić błędy zarówno techniczne związane ze sprzętem, jak i z nieodpowiednim przygotowaniem pacjenta, należą do nich m.in.:

- nieprawidłowe przygotowanie urządzenia do badania, w tym nieprawidłowa kalibracja, co skutkuje uzyskaniem niemiernodajnych wyników;
- wprowadzanie nieprawidłowych danych pacjenta do systemu, takich jak wiek, masa i wysokość ciała;
- interpretacja wyników nieakceptowanych technicznie i nieużytecznych ze względu na m.in. przecieki powietrza, jak również zmienną objętość oddechową podczas rozpoczynania fazy wypłukiwania – stanowią one najczęstsze błędy podczas wykonywania testu MBW.

Zastosowanie w praktyce klinicznej

Wykorzystanie testu MBW jest aktualnie standardem postępowania w mukowiscydozie (*cystic fibrosis*, CF), jednak pojawia się coraz więcej badań wskazujących na możliwość stosowania tej metody w innych jednostkach chorobowych.

Mukowiscydoza

Zgodnie z aktualnymi standardami ECFS (*European Cystic Fibrosis Society*) test MBW jest wskazany do wykrywania i monitorowania wczesnej choroby oskrzelowo-płucnej w przebiegu mukowiscydozy w populacji dziecięcej, jak również u chorych dorosłych z prawidłową spirometrią [3]. Wykazano zależność pomiędzy wynikami MBW i obecnością zakażenia dróg odde-

chowych florą patogenną [16], ryzykiem zaostrzeń [17] oraz z wynikami badań obrazowych, tj. ze zmianami strukturalnymi płuc w tomografii komputerowej wysokiej rozdzielczości (*high resolution computed tomography*, HRCT) [18] i zaburzeniami perfuzji w rezonansie magnetycznym (*magnetic resonance imaging*, MRI) [19]. Parametr LCI rośnie wraz z obniżeniem wartości FEV₁ u pacjentów z wczesną i umiarkowaną chorobą oskrzelowo-płucną [4, 5, 20–22].

Pierwotna dyskineza rzęsek

U dzieci z pierwotną dyskinezą rzęsek (*primary ciliary dyskinesia*, PCD) wykazano, że wskaźniki MBW pozwalają na wykrycie zaburzeń dystrybucji wentylacji u pacjentów z prawidłowymi wynikami spirometrii [23–25]. Podobnie jak w mukowiscydozie, już u dzieci w wieku przedszkolnym obserwuje się podwyższone wartości LCI korelujące z nasileniem choroby [26]. Wiele danych potwierdza przydatność tego parametru jako nieinwazyjnego narzędzia służącego do wczesnego monitorowania zaburzeń funkcji płuc w tej jednostce chorobowej [25, 27, 28].

Astma

Niejednorodność wentylacji obserwowana jest u dzieci [29–31] i dorosłych [32] w przebiegu astmy (niezależnie od nasilenia i stopnia kontroli choroby) [10], jak również u dzieci w wieku przedszkolnym ze świszczącym oddechem [33–35]. W wielu badaniach wykorzystywano MBW do oceny nadreaktywności oskrzeli [36], zaostrzeń astmy [37] i jej kontroli [38], odpowiedzi na leki rozszerzające oskrzela [29] lub systemowe glikokortykosteroidy [39]. Obok LCI również i inne parametry, takie jak S_{acin} i S_{cond} mogą być przydatnymi markerami oceny odpowiedzi na leczenie i przewidywania przyszłych zaostrzeń astmy. Wymaga to dalszych długoterminowych badań prospektywnych.

Inne

Niejednorodność wentylacji występuje również w dysplazji oskrzelowo-płucnej [40, 41] i może się utrzymywać do wieku dorosłego [42], a także w rozstrzeniach oskrzeli [43, 44] i POChP [11].

Coraz więcej doniesień dotyczy również zastosowania MBW w śródmiąższowych chorobach płuc u dzieci (*children Interstitial Lung Disease*, chILD) [45]. W zapaleniu płuc z nadwrażliwości (*hypersensitivity pneumonitis*, HP) obserwowano nieprawidłowe parametry LCI i S_{cond} u pacjentów z prawidłowymi wynikami badań spirometrycznych (ppFEV₁ > 90%). Nawet po wielu latach od zakończenia leczenia opisano odwrotną korelację LCI z-score z FEV₁ z-score [46]. Podobnie jak u chorych na mukowiscydozę, u pacjentów z poinfekcyjnym zarostowym zapaleniem oskrzelików (*post-infectious bronchiolitis obliterans*, PIBO) również obserwowano podwyższony parametr LCI, a także korelację LCI z-score z FEV₁ i FVC z-score oraz wynikami CT klatki piersiowej [47]. U dzieci z przetrwałym tachypnoe niemowląt (*persistent tachypnea of infancy*, PTI) wykazano wyższe wartości wskaźnika LCI i S_{acin} w porównaniu do grupy kontrolnej, co potwierdza zaburzenia w zakresie obwodowych dróg oddechowych [48].

Ponadto, prowadzone są badania nad jego zastosowaniem w ocenie czynnościowej układu oddechowego, m.in. w anemii sierpowatej [49], wrodzonej przepuklinie przeponowej (*congenital diaphragmatic hernia*, CDH) [50], a także zespole zarostowego zapalenia oskrzelików (*bronchiolitis obliterans syndrome*, BOS) po przeszczepieniu płuc [28, 51] lub przeszczepieniu komórek macierzystych (*hematopoietic stem cells transplantation*, HSCT) [52]. Istnieją doniesienia dotyczące wykorzystania MBW w diagnostyce płucnej przewlekłej choroby przeszczep przeciwko gospodarzowi (*Pulmonary chronic Graft-versus-Host Disease*, Pc-GvHD) – późnego powikłania HSCT [53, 54].

Pozostaje wiele wyzwań związanych z zaleceniami stosowania MBW w rutynowej opiece medycznej. Konieczne są dalsze badania dotyczące różnych jednostek chorobowych, częstości

pomiarów i istotności klinicznej otrzymywanych wyników. Implementacja MBW do praktyki klinicznej może mieć korzystny wpływ na wczesne rozpoznanie, postępowanie kliniczne i wyniki leczenia chorób obwodowych dróg oddechowych.

Podsumowanie

1. Test MBW służy do oceny niejednorodności wentylacji, głównego markera funkcji obwodowych dróg oddechowych.
2. Parametrem oceniającym jednorodność wentylacji jest wskaźnik klirensu płucnego (LCI).
3. Równania referencyjne *Global Lung Function Initiative* stanowią standard raportowania i interpretacji parametrów LCI i FRC.
4. Test MBW jest przeprowadzany podczas spokojnego oddychania, co sprawia, że może być stosowany w większości grup wiekowych; jest szczególnie odpowiedni dla małych dzieci lub osób dorosłych, które mają trudności z wykonywaniem natężonych manewrów oddechowych.
5. U pacjentów z przewlekłymi chorobami układu oddechowego zastosowanie MBW może pozwolić na wykrycie istotnych klinicznie zmian wcześniej niż tradycyjne badania czynnościowe układu oddechowego, takie jak spirometria, co umożliwia wcześniejszą interwencję.
6. Test MBW staje się coraz powszechniej wykorzystywany w praktyce klinicznej, zwłaszcza w kontekście monitorowania i wczesnego wykrywania zmian przede wszystkim w przebiegu CF i PCD, jednak jego zastosowanie w innych jednostkach chorobowych jest jeszcze ograniczone przez potrzebę dalszych badań i standaryzacji.

Źródło finansowania: praca nie finansowana ze źródeł zewnętrznych.

Konflikt interesów: Autorzy nie zgłaszają konfliktu interesów.

Piśmiennictwo

1. Perrem L, Gaietto K, Weiner DJ, et al. Advances in Pediatric Lung Function Testing Techniques. *Clin Chest Med* 2024; 45(3): 543–553.
2. Stanojevic S, Bowerman C, Robinson P. Multiple breath washout: measuring early manifestations of lung pathology. *Breathe* (Sheff) 2021; 17(3): 210016.
3. Burgel PR, Southern KW, Addy C, et al. Standards for the care of people with cystic fibrosis (CF); recognising and addressing CF health issues. *J Cyst Fibros* 2024; 23(2): 187–202.
4. Bayfield KJ, Douglas TA, Rosenow T, et al. Time to get serious about the detection and monitoring of early lung disease in cystic fibrosis. *Thorax* 2021; 76(12): 1255–1265.
5. Frauchiger BS, Binggeli S, Yammine S, et al. Longitudinal course of clinical lung clearance index in children with cystic fibrosis. *Eur Respir J* 2020; 58(1): 2002686.
6. Schulzke SM, Frey U. Consensus statement on inert gas washout measurement: at the threshold of clinical use. *Eur Respir J* 2013; 41(3): 500–502.
7. Subbarao P, Milla C, Aurora P, et al. Multiple-Breath Washout as a Lung Function Test in Cystic Fibrosis. A Cystic Fibrosis Foundation Workshop Report. *Ann Am Thorac Soc* 2015; 12(6): 932–939.
8. Ramsey KA, Stanojevic S, Chavez L, et al. ERS technical standard: Global Lung Function Initiative reference values for multiple breath washout indices. *Eur Respir J* 2024; 64(6): 2400524.
9. Bhakta NR, McGowan A, Ramsey KA, et al. European Respiratory Society/American Thoracic Society technical statement: standardisation of the measurement of lung volumes, 2023 update. *Eur Respir J* 2023; 62(4): 2201519.
10. Gouveia Belinelo P, de, Nielsen A, Goddard B, et al. Clinical and lung function outcomes in a cohort of children with severe asthma. *BMC Pulm Med* 2020; 20(1): 66.
11. Bell AS, Lawrence PJ, Singh D, et al. Feasibility and challenges of using multiple breath washout in COPD. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis* 2018; 13: 2113–2119.
12. Ratjen F, Davis SD, Stanojevic S, et al. Inhaled hypertonic saline in preschool children with cystic fibrosis (SHIP): a multicentre, randomised, double-blind, placebo-controlled trial. *Lancet Respir Med* 2019; 7(9): 802–809.
13. Ratjen F, Hug C, Marigowda G, et al. Efficacy and safety of lumacaftor and ivacaftor in patients aged 6–11 years with cystic fibrosis homozygous for F508del-CFTR: a randomised, placebo-controlled phase 3 trial. *Lancet Respir Med* 2017; 5(7): 557–567.
14. Oude Engberink E, Ratjen F, Davis SD, et al. Inter-test reproducibility of the lung clearance index measured by multiple breath washout. *Eur Respir J* 2017; 50(4): 1700433.
15. Perrem L, Stanojevic S, Solomon M, et al. Evaluation of clinically relevant changes in the lung clearance index in children with cystic fibrosis and healthy controls. *Thorax* 2023; 78(4): 362–367.
16. Walicka-Serzysko K, Postek M, Milczewska J, et al. Change in lung clearance index with microbiological status in children with cystic fibrosis. *Pediatr Pulmonol* 2019; 54(6): 729–736.
17. Wojsyk-Banaszak I, Więckowska B, Stachowiak Z, et al. Predictive value of impulse oscillometry and multiple breath washout parameters in pediatric patients with cystic fibrosis pulmonary exacerbation. *Pediatr Pulmonol* 2022; 57(6): 1466–1474.
18. Ellemunter H, Fuchs SI, Unsinn KM, et al. Sensitivity of Lung Clearance Index and chest computed tomography in early CF lung disease. *Respir Med* 2010; 104(12): 1834–1842.
19. 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(15): 5136.
20. Svedberg M, Imberg H, Gustafsson PM, et al. Longitudinal lung clearance index and association with structural lung damage in children with cystic fibrosis. *Thorax* 2023; 78(2): 176–182.
21. Walicka-Serzysko K, Postek M, Milczewska J, et al. Lung function deterioration in school children with cystic fibrosis. *Pediatr Pulmonol* 2020; 55(11): 3030–3038.
22. Walicka-Serzysko K, Postek M, Borawska-Kowalczyk U, et al. Pulmonary Function Tests in the Evaluation of Early Lung Disease in Cystic Fibrosis. *J Clin Med* 2023; 12(14): 4735.
23. Nyilas S, Schlegteendal A, Singer F, et al. Alternative inert gas washout outcomes in patients with primary ciliary dyskinesia. *Eur Respir J* 2017; 49(1): 1600466.
24. Green K, Buchvald FF, Marthin JK, et al. Ventilation inhomogeneity in children with primary ciliary dyskinesia. *Thorax* 2012; 67(1): 49–53.
25. Kobbarnagel HE, Green K, Ring AM, et al. One-year evolution and variability in multiple-breath washout indices in children and young adults with primary ciliary dyskinesia. *Eur Clin Respir J* 2019; 6(1): 1591841.

26. Roehmel JF, Doerfler FJ, Koerner-Rettberg C, et al. Comparison of the Lung Clearance Index in Preschool Children with Primary Ciliary Dyskinesia and Cystic Fibrosis. *Chest* 2022; 162(3): 534–542.
27. Singer F, Schlegelendal A, Nyilas S, et al. Lung clearance index predicts pulmonary exacerbations in individuals with primary ciliary dyskinesia: a multicentre cohort study. *Thorax* 2021; 76(7): 681–688.
28. Nyilas S, Bauman G, Pusterla O, et al. Structural and Functional Lung Impairment in Primary Ciliary Dyskinesia. Assessment with Magnetic Resonance Imaging and Multiple Breath Washout in Comparison to Spirometry. *Ann Am Thorac Soc* 2018; 15(12): 1434–1442.
29. Gustafsson PM. Peripheral airway involvement in CF and asthma compared by inert gas washout. *Pediatr Pulmonol* 2007; 42(2): 168–176.
30. Keen C, Olin AC, Wennergren G, et al. Small airway function, exhaled NO and airway hyper-responsiveness in paediatric asthma. *Respir Med* 2011; 105(10): 1476–1484.
31. Macleod KA, Horsley AR, Bell NJ, et al. Ventilation heterogeneity in children with well controlled asthma with normal spirometry indicates residual airways disease. *Thorax* 2009; 64(1): 33–37.
32. Verbanck S, Schuermans D, Noppen M, et al. Evidence of acinar airway involvement in asthma. *Am J Respir Crit Care Med* 1999; 159(5 Pt 1): 1545–1550.
33. Racette C, Lu Z, Kowalik K, et al. Lung clearance index is elevated in young children with symptom-controlled asthma. *Health Sci Rep* 2018; 1(8): e58.
34. Vilmann L, Buchvald F, Green K, et al. Fractional exhaled nitric oxide and multiple breath nitrogen washout in preschool healthy and asthmatic children. *Respir Med* 2017; 133: 42–47.
35. Sonnappa S, Bastardo CM, Wade A, et al. Symptom-pattern phenotype and pulmonary function in preschool wheezers. *J Allergy Clin Immunol* 2010; 126(3): 519–526.
36. Steinbacher M, Pflieger A, Schwantzer G, et al. Small airway function before and after cold dry air challenge in pediatric asthma patients during remission. *Pediatr Pulmonol* 2017; 52(7): 873–879.
37. Wawszczak M, Kulus M, Peradzyńska J. Peripheral airways involvement in children with asthma exacerbation. *Clin Respir J* 2022; 16(2): 97–104.
38. Wawszczak M, Kulus M, Peradzyńska J. Diagnostic accuracy of peripheral lung function measurements in paediatric asthma control assessment: a pilot study. *Postepy Dermatol Alergol* 2023; 40(6): 772–778.
39. Irving S, Fleming L, Ahmad F, et al. Lung clearance index and steroid response in pediatric severe asthma. *Pediatr Pulmonol* 2020; 55(4): 890–898.
40. Arigliani M, Valentini E, Stocco C, et al. Regional ventilation inhomogeneity in survivors of extremely preterm birth. *Pediatr Pulmonol* 2020; 55(6): 1366–1374.
41. Yammine S, Schmidt A, Sutter O, et al. Functional evidence for continued alveolarisation in former preterms at school age? *Eur Respir J* 2016; 47(1): 147–155.
42. Walicka-Serzysko K, Postek M, Borawska-Kowalczyk U, et al. Long-term pulmonary outcomes of young adults born prematurely: a Polish prospective cohort study PREMATURITAS 20. *BMC Pulm Med* 2024; 24(1): 126.
43. O'Neill K, Lakshmipathy GR, Neely C, et al. Multiple-Breath Washout Outcome Measures in Adults with Bronchiectasis. *Ann Am Thorac Soc* 2022; 19(9): 1489–1497.
44. Rowan SA, Bradley JM, Bradbury I, et al. Lung clearance index is a repeatable and sensitive indicator of radiological changes in bronchiectasis. *Am J Respir Crit Care Med* 2014; 189(5): 586–592.
45. Ring AM, Carlens J, Bush A, et al. Pulmonary function testing in children's interstitial lung disease. *Eur Respir Rev* 2020; 29(157): 200019.
46. Sisman Y, Buchvald F, Blyme AK, et al. Pulmonary function and fitness years after treatment for hypersensitivity pneumonitis during childhood. *Pediatr Pulmonol* 2016; 51(8): 830–837.
47. Gur M, Yaacoby-Bianu K, Ilivitzki A, et al. Lung Clearance Index (LCI) in Patients with Bronchiolitis Obliterans: A Preliminary Report and Comparison to Cystic Fibrosis Patients. *Lung* 2016; 194(6): 1007–1013.
48. Marczak H, Peradzyńska J, Lange J, et al. Pulmonary function in children with persistent tachypnea of infancy. *Pediatr Pulmonol* 2023; 58(1): 81–87.
49. Arigliani M, Kirkham FJ, Sahota S, et al. Lung Clearance Index May Detect Early Peripheral Lung Disease in Sickle Cell Anemia. *Ann Am Thorac Soc* 2022; 19(9): 1507–1515.
50. Streibel C, Willers CC, Bauman G, et al. Long-term pulmonary outcome of children with congenital diaphragmatic hernia: functional lung MRI using matrix-pencil decomposition enables side-specific assessment of lung function. *Eur Radiol* 2024; 34(6): 3773–3785.
51. Driskel M, Horsley A, Fretwell L, et al. Lung clearance index in detection of post-transplant bronchiolitis obliterans syndrome. *ERJ Open Res* 2019; 5(4): 00164–2019.
52. Rayment JH, Sandoval RA, Roden JP, et al. Multiple Breath Washout Testing to Identify Pulmonary Chronic Graft Versus Host Disease in Children After Hematopoietic Stem Cell Transplantation. *Transplant Cell Ther* 2022; 28(6): 328.e1–328.e7.
53. Riley M, Arigliani M, Davies G, et al. Looking beyond LCI: Multiple breath washout phase III slope derived indices and their application in chronic respiratory disease in children. *Pediatr Pulmonol* 2024; 59(12): 3085–3094.
54. Uhlving HH, Mathiesen S, Buchvald F, et al. Small airways dysfunction in long-term survivors of pediatric stem cell transplantation. *Pediatr Pulmonol* 2015; 50(7): 704–712.

Tabele: 1

Ryciny: 2

Piśmiennictwo: 54

Adres do korespondencji:

Dr hab. med i n. o zdr. Katarzyna Walicka-Serzysko

Klinika i Zakład Mukowiscydozy

Instytut Matki i Dziecka

Warszawa

E-mail: katarzyna.walicka@imid.med.pl

Zaakceptowano do druku: 08.08.2025 r.