

ARTYKUŁ POGLĄDOWY / REVIEW PAPER

Otrzymano/Submitted: 11.02.2020 • Zaakceptowano/Accepted: 18.03.2020

© Akademia Medycyny

Powikłania i błędy podczas wentylacji mechanicznej

Complications and errors of mechanical ventilation

Dariusz Maciejewski^{1,2}, Małgorzata Bizoń²

¹ Wydział Nauk o Zdrowiu, Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej

² Oddział Anestezjologii i Intensywnej Terapii Szpitala Wojewódzkiego w Bielsku-Białej



Streszczenie

Przedstawiono przegląd piśmiennictwa dotyczący możliwości występowania błędów i powikłań wentylacji mechanicznej oraz elementów pozwalających na ich unikanie. Podstawą bezpieczeństwa wentylacji jest umiejętność monitorowania wentylacji i stosowanie reguł wentylacji ochraniającej płuca. Aktualnie należy do nich niska objętość oddechowa, ograniczone ciśnienie wdychu, monitorowane wartości ciśnienia napędowego i energii wentylacji. Zdefiniowano także wg reguł CDC problemy infekcyjne związane z obecnością sztucznych dróg oddechowych. Wentylacja mechaniczna wymaga ścisłego monitorowania i rejestracji zdarzeń ze względów klinicznych i etyczno-prawnych. *Anestezjologia i Ratownictwo 2020; 14: 271-276.*

Słowa kluczowe: powikłanie, błąd, wentylacja mechaniczna, zdarzenia związane z wentylacją mechaniczną, IVAC, VAP

Abstract

A review of the literature was presented regarding the possibility of errors and complications of mechanical ventilation and elements allowing to avoid them. The basis of ventilation safety is the ability to monitor ventilation and apply the rules of protect ventilation. Currently, these include low tidal volume, limited inspiratory pressure, monitored values of drive pressure and ventilation energy. CDC rules have also been defined for infectious problems associated with the presence of artificial airways. Mechanical ventilation requires close monitoring and recording of events for clinical and ethical and legal reasons. *Anestezjologia i Ratownictwo 2020; 14: 271-276.*

Keywords: complication, error, mechanical ventilation, ventilatory associated events, IVAC, VAP

Słownik Języka Polskiego (PWN, 2008 r.) definiuje pojęcie „powikłanie” (w odniesieniu do medycyny) jako dodatkowe schorzenie, które powstaje wskutek m.in. innej choroby, operacji czy błędów w leczeniu i odróżnia to pojęcie od „błędu”, który jest nieumyślnym działaniem podjętym niezgodnie z zasadami i w konsekwencji przynosi złe skutki [1]. Warto też zwrócić uwagę na pojęcie skutków (efektów) ubocznych podejmowanych działań, które określa się jako

„działanie leku lub procedury medycznej inne niż oczekiwano lub zamierzono”. Kontekst przytoczonych pojęć w odniesieniu do wentylacji mechanicznej jest jednak trudny do zdefiniowania. Niemal dwadzieścia lat temu K.D. Chinsky na łamach „Chest” zwracał uwagę na wielopłaszczyznowość związku maszyny podłączonej w jakikolwiek sposób do organizmu człowieka i ostatecznymi efektami jej oddziaływania [2]. Zależą one nie tylko od ustalenia prawidłowych

zasad funkcjonowania ogólnie rozumianej „maszyny”, ale również zmieniającego się stanu pacjenta, właściwego rozpoznania oraz podjętych sposobów terapii i zastosowanych leków. Do tego pozostają jeszcze kwestie działań systemowych związanych z zastosowaniem urządzenia. Dostęp i jakość infrastruktury na tle działania systemu leczenia chorego (np. gazy medyczne, sieć elektryczna, badania analityczne, jakość i dostępność diagnostyki obrazowej) powodują, że jeśli pojęcie „maszyna” zastąpimy słowem „respirator”, to potencjalna liczba błędów, powikłań i zagrożeń wynikających ze stosowania tego urządzenia w procesie leczniczym, staje się bardzo duża [2,3]. Co ciekawe, są to najczęściej efekty, z różnych przyczyn, nieuświadomiane. Podstawowa diagnostyka ultrasonograficzna, potencjalnie niegenerująca powikłań (co najwyżej błędy), wymaga kilkutygodniowego kursu i złożonego egzaminu dla uzyskania podstawowych uprawnień. Respirator, który jest źle obsługiwany, jest urządzeniem mogącym doprowadzić w ciągu kilkudziesięciu sekund do śmiertelnych powikłań, a nie ma w Polsce cezur zdobywania umiejętności obsługiwanego przez niego, pozostawiając to dobrej woli i nieskrępowanym chęciom (jeśli występują) i czasami wręcz fantazji lekarza. Stąd mówienie o powikłaniach w tej materii jest trudne, bo w zasadzie ich ujawnienie ociera się o ustawodawstwo karne, ale zarazem brak jednolitych poglądów na stosowanie respiratora, utrudnia zdefiniowanie i interpretowanie zagrożeń [3]. Powikłania wentylacji mechanicznej zazwyczaj są poprzedzane przez popełniane błędy. Można do nich zaliczyć:

- złą ocenę i kwalifikację pacjenta do wentylacji mechanicznej określonym sposobem (np. IPPV vs. NIV),
- błędnie ustalone parametry biometryczne (np. brak wiedzy o należnej masie ciała),
- pomyłki interpretacji diagnostyki obrazowej (radiolog, metoda obrazowania),
- zły dobór monitorowania przyjętego trybu wentylacji i jego ocena analityczna (krzywe skalarnie, ocena parametrów dynamicznych wentylacji, diagnostyka gazometryczna i elementy monitorowania ciągłego) [4,5].

Osobnym elementem o niezwykłym znaczeniu jest dobór sposobu i trybu wentylacji. Zastosowanie metod ograniczonych ciśnieniem lub objętością, dobór częstości wentylacji, zastosowanie manewrów oddechowych stanowi jeden z podstawowych elementów leczenia respiratorem. Jeżeli mamy do czynienia

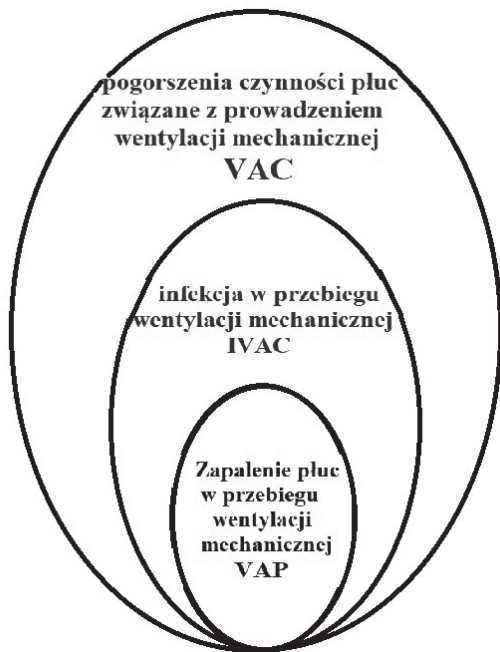
z wentylacją zdrowych płuc (sala operacyjna) postępowanie jest mniej złożone, ale wcale nie bardziej bezpieczne. W przypadku leczenia wentylacyjnego pozostaje to wynik prawidłowego rozpoznania i umiejętności posługiwania się respiratorem. Czasami na przeszkodzie optymalizacji postępowania pozostaje niedostępność sprzętu wentylacyjnego o określonych właściwościach. Wybierana zasada mniejszego zła niestety nie zawsze służy choremu. Przykrym przykładem jest ograniczona dostępność interfejsów wentylacji nieinwazyjnej [6,7]. Wobec zmiennego ukształtowania twarzy człowieka posiadanie trzech podstawowych typów interfejsów (hełmu wentylacyjnego, maski twarzowej pełnej i maski nosowo-twarzowej) w trzech rozmiarach jest postępowaniem, które ograniczy ryzyko intubacji dotchawiczej i związanych z tym powikłań. Również koszt takiego postępowania tylko pozornie wydaje się większy, ponieważ zazwyczaj nie uwzględnia on odległych i całościowych skutków inwazyjnego zabezpieczenia dróg oddechowych [7]. W grupie błędów popełnianych podczas wentylacji mechanicznej znajduje się brak powtarzalnej kontroli nad procesem wentylacji (osłuchiwanie, monitorowanie rtg lub USG) i analizy parametrów wentylacji. Zazwyczaj koreluje on z niedostosowaniem sedacji, brakiem elementów profilaktyki delirium oraz przedłużaniem blokady nerwowo – mięśniowej wobec niemożności dostosowania sedacji do potrzeb chorego i prowadzonego leczenia wentylacyjnego (sedacja kooperatywna) [8]. Nie można również zapominać, że leczenie przyczynowe chorego musi być adekwatne i weryfikowane w miarę postępu terapii. Niezastosowanie przedstawionych powyżej elementów powoduje, że możliwość zakończenia wentylacji („weaning”) często przedłuża się, stanowiąc dodatkowe ryzyko dla pacjenta i problem ekonomiczny. Należy zwrócić uwagę, że spontaniczne zakończenie wentylacji (kiedy nienadzorowany chory usuwa sobie rurkę intubacyjną), jest obecnie znaczącym błędem leczenia respiratorem. Dostępność monitorowania działania środków sedacji i systemów nadzorowania weaningu, również automatyczne systemy zakończenia wentylacji zawarte w oprogramowaniu niektórych respiratorów (m.in. Hamilton, Drager, Lowenstein), pozwalają na zakończenie wentylacji w planowy sposób i uniknięcie konieczności reintubacji, co statystycznie podwyższa ryzyko zgonu chorego o 18% [3,9]. Aktualne możliwości zakończenia leczenia respiratorem z zastosowaniem wentylacji nieinwazyjnej lub wysokoprzepływowego terapii tlenem zwiększają bezpieczeństwo i komfort

takiego postępowania o ile istnieją możliwości i wiedza dotycząca ich zastosowania [9]. Jednak pomimo starannego prowadzenia wentylacji mechanicznej chorych zaintubowanych (ponad 70% leczonych w OIT), wentylacja mechaniczna, będąc odwróceniem fizjologicznych założeń pracy układu oddechowego wywołuje zagrożenie powikłaniami. Najczęściej wynikają one z obecności sztucznej drogi oddechowej i powstających w wyniku jej stosowania stanów zapalnych tchawicy, oskrzeli i płuc. Osobną grupę powikłań często decydujących o przeżyciu chorego stanowią uszkodzenie biomechaniczne płuc (VALI) z transdukcją procesu zapalnego do krążenia systemowego. Występowanie zaburzeń krążeniowych wynika zazwyczaj z niedostosowania parametrów wentylacji do stanu hemodynamicznego pacjenta. Towarzyszą temu skutki uboczne wentylacji respiratorem, do których należą zaburzenia funkcji nerek, trzewi, układu immunologicznego, oraz centralnego układu nerwowego. Możliwość zapobiegania ich występowaniu jest ograniczona i zmienna osobniczo [10]. Efektem ubocznym stosowania oddechu mechanicznego pozostają różnego stopnia uszkodzenia układu mięśniowego. Pozostają one zależne od czasu prowadzenia wentylacji, stosowanych leków (steroidy, wspomniane wyżej leki blokady nerwowej) oraz skrajzenia czasu wentylacji z ciężkością zachorowania. Przykładowa nabyta dysfunkcja mięśniowa krytycznie chorych, najczęściej stwierdzana we wstrząsie septycznym, jest wynikiem ciężkości zachorowania i stosowanej wentylacji [11]. Analizując patofizjologiczne skutki powikłań wentylacji mechanicznej nie możemy zapomnieć o możliwych zaburzeniach w pracy respiratora, wynikających z wad elementów mechaniczno-pneumatycznych lub dysfunkcji oprogramowania. Nowoczesne respiratory zazwyczaj nie dopuszczają do powstawania krytycznych błędów w swoim działaniu i sygnalizują powstający problem. Element niezrozumienia komunikatów respiratora, czasami wynikający z obcego języka oprogramowania, powoduje kontynuację wentylacji w warunkach błędu uszkadzającego układ oddechowy pacjenta (np. wysokie ciśnienie szczytowe, zbyt wysoka częstość oddechu, zaleganie CO₂ i in.). Wady mechaniczne powodują brak możliwości wentylacji lub złą pracę zastawek respiratora prowadzącą do uszkodzenia płuc [3,5,6]. Najczęściej wymienianym powikłaniem stosowania wentylacji mechanicznej wydaje się pojęcie zapalenie płuc wywoływane przez wentylację mechaniczną (VAP – ventilatory associated pneumonia). Stwierdzenie to niesie w sobie usprawiedliwiający

element powstawania zmian zapalnych w układzie oddechowym podczas wentylacji mechanicznej. Jest z założenia błędne, ponieważ żaden respirator, jako urządzenie mechaniczne wspomagające i zastępujące oddech pacjenta, nie jest w stanie wywołać stanu zapalnego płuc! Natomiast takiemu stanowi może sprzyjać obecność sztucznych dróg oddechowych i wymieniony wyżej kompleks działań ubocznych wentylacji. Wieloletnie przyzwyczajenia stosowania pojęcia VAP, wprowadzonego w 2008 r., próbuje się aktualnie uporządkować. Amerykańskie CDC w 2013 r. zaproponowało nowy podział powikłań związanych ze stosowaniem respiratora [12-14]. Składa się on z kilku stanów patofizjologicznych w przebiegu wentylacji mechanicznej nazywanych zdarzeniami związanymi z wentylacją (VAE – ventilatory associated events), do których zalicza się:

- Czynniki pogorszenia czynności płuc związane z prowadzeniem wentylacji mechanicznej (VAC – Ventilator-Associated Conditions)
 - Dotyczy to sytuacji, kiedy po 2 pełnych dobach stabilnej wentylacji mechanicznej przy zachowaniu stałych lub malejących wartości minimalnego PEEP i/lub FiO₂, konieczne jest podniesienie wartości PEEP o ≥ 3 cm H₂O lub wzrost FiO₂ $\geq 0,2$ utrzymujący się przez ≥ 2 dni.
- Powikłania związane z występującą infekcją w przebiegu stosowania wentylacji mechanicznej (IVAC – Infection-related Ventilator-Associated Complications)
 - Występowanie cech VAC oraz zmiany temperatury temp. $< 36^{\circ}\text{C}$ lub $> 38^{\circ}\text{C}$ albo zmiany ilości leukocytów ≤ 4 lub $\geq 12 \times 10^3$ komórek/mm³ przy konieczności włączenia (jednego lub więcej) nowych antybiotyków do terapii i kontynuowanie jej powyżej 4 dni, 2 dni od wystąpienia VAC z wyłączeniem pierwszych 2 dni leczenia respiratorem.
- Prawdopodobna lub rzeczywista infekcja płuc (Ventilator-Associated Pneumonia)
 - Cechy IVAC oraz wystąpienie w płwocinie lub BAL obrazu ≥ 25 granulocytów obojętnochłonnych przy obecności w polu widzenia ≤ 10 komórek nabłonkowych lub stwierdzenie kultur bakterii właściwych dla układu oddechowego w okresie 2 dni od wystąpienia VAC i z wyłączeniem pierwszych 2 dni wentylacji respiratorem [14]

Powyższe zależności ilustruje rycina 1, choć w sposób oczywisty jest to zaprezentowanie jedynie schematu możliwych zależności wg aktualnych kryteriów CDC w ocenie zagrożeń i powikłań stosowania respiratora.



Rycina 1. Schemat zależności występowania VAE (ventilatory associated events) związanych z narastającymi powikłaniami podczas stosowania wentylacji mechanicznej

Figure 1. Dependence of the occurrence of VAE (ventilatory associated events) associated with increasing complications during the use of mechanical ventilation (according to Klompas M. et al. Am J Respir Crit Care Med 2015, 191 (3), 292–301)

Źródło/Source: oprac. własne wg / according to Klompas M, et al. Am J Respir Crit Care Med. 2015;191(3):292-301.

Inne przyczyny VAE podnoszone przez M. Klompasa (2019) na dzień dzisiejszy obejmują:

- sedację benzodiazepinami lub propofolem,
- przeciążenie objętościowe układu krążenia,
- wentylację o dużej objętości oddechowej,
- wysokie driving pressure, jatrogenną niedodmę,
- wystąpienie ARDS,
- pielęgnację jamy ustnej za pomocą chlorheksy-

dyny,

- liczne transfuzje krwi,
- profilaktykę owrzodzeń stresowych,
- nieadekwatną wentylację transportową pacjenta [13].

Aktualnie proponuje się cały szereg działań zapobiegawczych związanych z czynnikami VAE. Zalicza się do nich m.in. minimalizowanie sedacji, codzienne spontaniczne budzenie i próby oddychania, wczesne uruchamianie wentylowanego (tzw. mobilność przyłóżkowa), płynoterapię restrykcyjną i wentylację wg reguł postępowania chroniącego płuca. W tym kontekście nie należy jednak myśleć o pierwotnych schematach ARDSnet, tylko odnosić się do aktualnie potwierdzonych reguł profilaktyki uszkodzeń płuc związanych z wentylacją mechaniczną (VALI) [13,15]. Należy do nich zaliczyć:

- właściwe ustalenie rzeczywistej masy ciała wentylowanego,
- stosowanie objętości oddechowych 6,5-7 ml/kg,
- utrzymywanie wartości ciśnienia plateau poniżej 28 cm H₂O przy wartości respiratory drive poniżej 15 cm H₂O,
- stosowanie średnich lub niskich wartości PEEP,
- utrzymywanie wartości FiO₂ poniżej 0,6,
- ograniczenie manewrów rekrutacyjnych do bezwzględnych wskazań,
- utrzymywanie energii wentylacji poniżej 20 J/min przy zachowaniu niskiej częstości wentylacji 12-16/min,
- wczesne stosowanie pozycji odwróconej, przy braku możliwości skutecznej wentylacji w łożeniu na plecach przez 12-24 h,
- unikanie desynchronizacji pacjent/respirator przez właściwe i indywidualne ustawienia triggera [16-18].

Wymienione czynniki muszą być kompleksowo brane pod uwagę w każdym przypadku prowadzenia wentylacji mechanicznej. Co ciekawe, ich przestrzeganie pozwala na redukcję powikłań wynikających ze stosowania respiratora zarówno w sali operacyjnej, jak i podczas leczenia wentylacyjnego najcięższych przypadków niewydolności oddechowej, również ARDS. W tym przypadku powrót do koncepcji „baby lung” i wczesne stosowanie ECMO wydają się być nowymi czynnikami mogącymi poprawić ciągle niezadowalające wyniki leczenia tej grupy chorych [3,4,6,15].

Pomimo dość precyzyjnych zasad oceny i reestracji powikłań związanych z wentylacją zauważono,

że postrzeganie niektórych problemów jest bardzo różnicowane, w zależności od ośrodka. Pham i wsp. przeprowadzili badanie porównujące odnotowywanie VAE i innych powikłań wentylacji mechanicznej przez trzy podmioty kontroli i nadzoru nad bezpieczeństwem terapii [19]. Okazało się, że niektóre oczywiste problemy wpływające na bezpieczeństwo i jakość leczenia respiratorem są postrzegane w sposób niezwykle różnicowany. Przykładowo różnica oceny prawidłowości przeprowadzenia szkolenia przed zastosowaniem respiratora w zakresie wpływu na bezpieczeństwo wentylacji wahała się pomiędzy 1% i 32%, a nieprawidłowości złożenia układu pacjenta pomiędzy 0% i 36%. Autorzy opracowania podkreślają trudność w ocenie tego, co w danej sytuacji można określić jako błąd krytyczny i zagrażający życiu chorego. Podsumowując powyższe stwierdzenia należy zauważyć, że powszechne obecnie unikanie odpowiedzialności za błędy i powikłania stosowania respiratora jako narzędzia leczenia niewydolnych oddechowo chorych wynika z braku prowadzenia odpowiedniej

dokumentacji postępowania, kart leczenia wentylacyjnego i braku elektronicznej rejestracji „on line” zmian parametrów leczenia. Wydaje się jednak, że najbliższe lata, wraz z optymalizacją zapisu procedur leczenia, przyniosą również w tej dziedzinie uporządkowanie zaleceń i ich zastosowania z pożytkiem dla najciężej chorych. Wówczas zapewne okaże się, że respirator nie jest narzędziem „switch on – switch off”, ale posiada walor leku, przez Paracelsusa określony jako *dosis facit venenum*.

Konflikt interesów / Conflict of interest

Brak/None

Adres do korespondencji / Correspondence address

✉ Dariusz Maciejewski

Wydział Nauk o Zdrowiu ATH

ul. Willowa 2; 43-300 Bielsko-Biała

☎ (+48 33) 827 94 03

✉ dmaciejewski@szkolawentylacji.pl

Piśmiennictwo/References

1. Wielki Słownik Języka Polskiego PWN (2008): <https://sjp.pwn.pl/slowniki/html>
2. Chinsky KD. Critical interactions: man and machine. *Chest*. 2001;119(4):996-7
3. Pham T, Brochard LJ, Slutsky AS. Mechanical Ventilation: State of the Art. *Mayo Clin Proc*. 2017;92(9):1382-400.
4. Gattinoni L, Tonetti T, Cressoni M, et al. Ventilator-related causes of lung injury: the mechanical power. *Intensive Care Med*. 2016; 42(10):1567-75.
5. Szkulmowski Z. Monitorowanie wentylacji mechanicznej. [In:] Wentylacja mechaniczna – teoria i praktyka. Maciejewski D, Wojnar-Gruszka K (eds.). Bielsko-Biała: Alfa Medica Press; 2016. p. 112-48.
6. Brochard L, Slutsky A, Pesenti A. Mechanical Ventilation to Minimize Progression of Lung Injury in Acute Respiratory Failure. *Am J Respir Crit Care Med*. 2017;195(4):438-42.
7. Yeung J, Couper K, Ryan EG, et al. Non-invasive ventilation as a strategy for weaning from invasive mechanical ventilation: a systematic review and Bayesian meta-analysis. *Intensive Care Med*. 2018;44(12):2192-204.
8. Chawla N, Boateng A, Deshpande R. Procedural sedation in the ICU and emergency department. *Curr Opin Anaesthesiol*. 2017;30(4): 507-12.
9. Munshi L, Ferguson ND. Weaning From Mechanical Ventilation: What Should Be Done When a Patient's Spontaneous Breathing Trial Fails? *JAMA*. 2018;320(18):1865-7.
10. Ziętkiewicz M. Ogólnoustrojowe powikłania wentylacji mechanicznej. [In:] Wentylacja mechaniczna – teoria i praktyka. Maciejewski D, Wojnar-Gruszka K (eds.). Bielsko-Biała: Alfa Medica Press; 2016. p. 211-218.
11. Dres M, Goligher EC, Heunks LMA, Brochard LJ. Critical illness-associated diaphragm weakness. *Intensive Care Med*. 2017;43(10): 1441-52.
12. Klompas M. Complications of mechanical ventilation – the CDC's new surveillance paradigm. *N Engl J Med*. 2013;368:1472-5.
13. Klompas M. Ventilator-Associated Events: What They Are and What They Are Not. *Respir Care*. 2019;64(8):953-61.
14. Klompas M, Anderson D, Trick W, et al. (for the CDC Prevention Epicenters). The Preventability of Ventilator-associated Events The CDC Prevention Epicenters Wake Up and Breathe Collaborative. *Am J Respir Crit Care Med*. 2015;191(3):292-301.
15. Liu J, Zhang S, Chen J, et al. Risk factors for ventilator-associated events: A prospective cohort study. *Am J Infect Control*. 2019;47(7): 744-9.
16. Amato MB, Meade MO, Slutsky AS, et al. Driving pressure and survival in the acute respiratory distress syndrome. *N Engl J Med*.

2015;372(8):747.

17. Alessandri F, Pugliese F, Ranieri VM. The Role of Rescue Therapies in the Treatment of Severe ARDS. *Respir Care*. 2018;63(1):92-101.
18. Page D, Ablordeppey E, Wessman BT, et al. Emergency department hyperoxia is associated with increased mortality in mechanically ventilated patients:a cohort study. *Crit Care*. 2018;22(1):9.
19. Pham JC, Williams TL, Sparnon ER, et al. Ventilator-Related Adverse Events: A Taxonomy and Findings From 3 Incident Reporting Systems *Respir Care*. 2016;61(5):621-31.