

Spis treści

1 Historyczne aspekty wentylacji mechanicznej	1
Piśmiennictwo	6
2 Wskazania do wentylacji mechanicznej	8
2.1 Niedotlenienie	8
2.2 Hipowentylacja	9
2.3 Zwiększenie pracy oddechowej	9
2.4 Inne wskazania	10
2.5 Kryteria wykonania intubacji i rozpoczęcia wentylacji	11
Piśmiennictwo	15
3 Istotne zmiany fizjologiczne podczas wentylacji mechanicznej	16
3.1 Następstwa intubacji dotchawiczej	16
3.2 Oddychanie z dodatnim ciśnieniem w drogach oddechowych	18
3.3 Podatność płuc	25
3.3.1 Podatność statyczna	26
3.3.2 Podatność dynamiczna	28
3.4 Opór dróg oddechowych	30
3.5 Stała czasowa płuc	34
3.6 Wentylacja pęcherzykowa i przestrzeń martwa	35
3.6.1 Anatomiczna przestrzeń martwa	35
3.6.2 Pęcherzykowa przestrzeń martwa	36
3.6.3 Fizjologiczna przestrzeń martwa	36
3.7 Mechanizmy powstawania hipoksemii	41
3.7.1 Hipowentylacja	41
3.7.2 Zaburzenia stosunku wentylacji do perfuzji – V/Q	44
3.7.3 Przeciek prawo-lewy	46
3.7.4 Zaburzenia dyfuzji	48
3.8 Efekty hemodynamiczne wentylacji mechanicznej	50
3.9 Wpływ wentylacji mechanicznej na nerki	53
3.10 Wpływ wentylacji mechanicznej na wątrobę i układ pokarmowy	55
3.10.1 Zaburzenia czynności wątroby i układu żółciowego	55
3.10.2 Zaburzenia układu pokarmowego	56
Piśmiennictwo	56
4 Konwencjonalne tryby wentylacji mechanicznej	61
4.1 Respiratory	61
4.1.1 Systemy zamkniętej i otwartej pętli	62

4.1.2	Panel kontrolny	62
4.1.3	Układ pneumatyczny	62
4.1.4	Zastawka wydechowa	63
4.1.5	Zmienne wentylacji mechanicznej	64
4.1.6	Zmienna wyzwala oddech („triggerowanie” respiratora)	65
4.1.7	Zmienna ograniczenia	65
4.1.8	Zmienna cykliczna	66
4.1.9	Zmienna graficznej podstawowej linii odniesienia	68
4.1.10	Wstrzymanie wdechu	68
4.1.11	Wstrzymanie wydechu i opóźnienie wydechu	69
4.2	Tryby wentylacji z docelową objętością oddechową	70
4.2.1	Tryb kontrolowanej i wspomaganej wentylacji objętościowej	70
4.3	Przerywana wentylacja obowiązkowa	73
4.4	Wentylacja wspierana ciśnieniowo	78
4.5	Ciągłe dodatnie ciśnienie w drogach oddechowych	82
4.6	Wentylacja na dwóch poziomach ciśnienia w drogach oddechowych	85
4.7	Wentylacja z okresowym obniżaniem ciśnienia w drogach oddechowych	85
4.7.1	Bi-PAP	86
4.8	Wentylacja ograniczana ciśnieniem	86
4.8.1	Wentylacja proporcjonalna	88
4.9	Podwójna kontrola oddechu	89
4.9.1	Kontrola w czasie fazy oddechowej	90
4.9.2	Kontrola pomiędzy oddechami	91
4.9.3	Wentylacja o regulowanym ciśnieniu i kontrolowanej objętości	92
4.9.4	Tryb automatyczny (automode)	93
4.9.5	Obowiązkowa wentylacja minutowa	95
4.9.6	Wentylacja wspomagana objętościowo	95
4.9.7	Adaptacyjne wspomaganie wentylacji	96
	Piśmiennictwo	97

5	Programowanie parametrów pracy respiratora	100
5.1	Objętość oddechowa	100
5.1.1	Wentylacja z docelową objętością	100
5.1.2	Wentylacja z docelowym ciśnieniem	101
5.2	Częstość oddechów	102
5.3	Przepływ	103
5.4	Czas wdechu i wydechu (współczynnik I:E)	105

5.5	Kształt fali przepływu.	106
5.5.1	Fala kwadratowa.	106
5.5.2	Fala opadająca.	107
5.5.3	Fala narastająca.	107
5.5.4	Fala sinusoidalna.	107
5.6	Czułość triggera (wyzwalacza).	107
5.7	Dodatnie ciśnienie w końcowej fazie wydechu (PEEP).	108
5.7.1	Poprawa utlenowania.	109
5.7.2	Zapobieganie barotraumie i uszkodzeniu płuc.	110
5.7.3	Ograniczanie auto-PEEP.	110
5.8	Wskazania do zastosowania PEEP.	111
5.9	Rodzaje PEEP.	111
5.10	Stopniowe zwiększanie wartości PEEP.	111
5.10.1	Inne zalety PEEP.	113
5.10.2	Wady PEEP.	115
5.11	Optymalizacja parametrów respiratora w celu uzyskania lepszego utlenowania.	115
5.11.1	Zwiększenie FiO_2	115
5.11.2	Zwiększenie wentylacji pęcherzykowej.	115
5.12	PEEP.	116
5.12.1	Kształt fali przepływu.	116
5.12.2	Czas wdechu.	116
5.12.3	Odwrócony stosunek wdech/wydech.	117
5.12.4	Wentylacja w ułożeniu na brzuchu.	117
5.12.5	Zmniejszenie zużycia tlenu.	117
5.12.6	Zwiększenie pojemności tlenowej krwi.	117
5.12.7	Uwaga.	118
	Piśmiennictwo.	119

6 Alarmy respiratora. 122

6.1	Alarm obniżenia wydechowej objętości minutowej.	122
6.2	Alarm dużej wydechowej objętości minutowej.	123
6.3	Alarm górnej granicy ciśnienia w drogach oddechowych.	124
6.4	Alarm dolnej granicy ciśnienia w drogach oddechowych.	126
6.5	Alarmy stężenia tlenu.	127
6.6	Alarm niskiego stężenia tlenu.	127
6.7	Alarm wysokiego stężenia tlenu.	127
6.8	Brak zasilania elektrycznego.	127
6.9	Alarm bezdechu.	128
6.10	Przycisk dwuminutowego zawieszenia alarmu.	128
	Piśmiennictwo.	128

7 Monitorowanie wymiany gazowej u pacjentów wentylowanych mechanicznie	130
7.1 Ciśnienie parcjalne tlenu we krwi tętniczej	130
7.2 Pulsoksymetria	137
7.2.1 Zasada pulsoksymetrii	139
7.3 Monitorowanie przezskórne gazów we krwi	148
7.4 Monitorowanie utlenowania w tkankach	149
7.4.1 Współczynnik wychwytywania tlenu i DO_2 crit	150
7.5 Kapnografia	153
Piśmiennictwo	160
8 Monitorowanie biomechaniki płuc podczas wentylacji mechanicznej	163
8.1 Krzywe oddechowe	163
8.2 Krzywe skalarne	164
8.2.1 Krzywa ciśnienie–czas	164
8.2.2 Krzywa przepływ–czas	169
8.2.3 Krzywa objętość–czas	175
8.3 Pętle	176
8.3.1 Pętla ciśnienie–objętość	176
8.3.2 Pętla przepływ–objętość	186
8.4 Zaburzenia synchronizacji pacjent–respirator	195
8.4.1 Stopień wspomagania wentylacji i praca oddychania	195
8.4.2 Całkowite wspomaganie	195
8.4.3 Częściowe wspomaganie	195
8.4.4 Brak synchronizacji pacjent–respirator	196
8.4.5 Brak synchronizacji wyzwalania	196
8.4.6 Brak synchronizacji przepływu	198
Piśmiennictwo	208
9 Wentylacja mechaniczna w różnych stanach chorobowych	210
9.1 Niedokrwienie mięśnia sercowego	210
9.2 Wstrząs hipowolemiczny	213
9.3 Uszkodzenia neurologiczne	214
9.4 Zespół ostrych zaburzeń oddychania	216
9.4.1 ARDS pierwotny i wtórny	217
9.4.2 Patofizjologia	218
9.4.3 Strategie wentylacji	220
9.5 Obturacyjne choroby płuc	233
9.5.1 P_aCO_2	235
9.5.2 Tryby wentylacji u pacjentów z obturacją dróg oddechowych	237

9.5.3 Programowanie respiratora w obturacyjnych zaburzeniach przepływu	239
9.5.4 Przetoka oskrzelowo-opłucnowa	243
9.6 Choroby układu nerwowo-mięśniowego	244
9.6.1 Czynność płuc	248
9.6.2 Udział mięśni wdechowych w chorobach nerwowo-mięśniowych	249
9.6.3 Udział mięśni wydechowych w chorobach nerwowo-mięśniowych	249
9.6.4 Udział mięśni opuszkowych w chorobach nerwowo-mięśniowych	250
9.6.5 Ocena czynności płuc	250
9.6.6 Wentylacja mechaniczna w chorobach układu nerwowo-mięśniowego	251
9.7 Niehomogeniczne choroby płuc	253
9.8 Wentylacja mechaniczna cepowatej klatki piersiowej	253
Piśmiennictwo	254
10 Powikłania wentylacji mechanicznej	264
10.1 Powikłania w okresie intubacji	265
10.1.1 Uraz krtani	265
10.1.2 Uraz gardła	265
10.1.3 Rozerwanie tchawicy lub oskrzela	266
10.1.4 Krwawienie z nosa	266
10.1.5 Urazy zębów	266
10.1.6 Uszkodzenie szyjnego odcinka rdzenia kręgowego	267
10.1.7 Intubacja do przełyku	267
10.1.8 Perforacja przełyku	268
10.1.9 Intubacja do prawego głównego oskrzela	268
10.1.10 Zaburzenia rytmu	269
10.1.11 Aspiracja	269
10.1.12 Skurcz oskrzeli	270
10.1.13 Powikłania neurologiczne	270
10.2 Problemy występujące nagle podczas intubacji	270
10.2.1 Niedrożność rurki dotchawiczej	270
10.2.2 Wysychanie dróg oddechowych	271
10.2.3 Zmiana pozycji rurki dotchawiczej ku górze	271
10.2.4 Samoistna ekstubacja	271
10.2.5 Przeciek wokół mankietu uszczelniającego	272
10.2.6 Uszkodzenie płuc związane z wentylacją mechaniczną i indukowane przez respirator	275
10.3. Powikłania późne (Ryc. 10.5)	279
10.3.1 Zapalenie zatok	279
10.3.2 Przetoka tchawiczo-przełykowa	279

10.3.3	Przetoka między tchawicą a tętnicą bezimienną	281
10.3.4	Przetoka tchawiczo-skórna	282
10.4	Powikłania płuc zależne od tlenu	282
10.4.1	Zapalenie tchawicy i oskrzeli	283
10.4.2	Niedodma absorpcyjna	284
10.4.3	Hiperkapnia hiperoksyczna	284
10.4.4	Uogólnione uszkodzenie pęcherzyków	287
10.4.5	Dysplazja oskrzelowo-płucna	288
10.4.6	Zapalenie płuc związane z respiratorem	288
	Piśmiennictwo	288
11	Zapalenie płuc związane z wentylacją mechaniczną	294
11.1	Częstość występowania	295
11.2	Czynniki mikrobiologiczne	296
11.3	Czynniki ryzyka	297
11.3.1	Wpływ rurki dotchawiczej (intubacyjnej lub tracheostomijnej)	298
11.3.2	Zmiana właściwości błony śluzowej	298
11.3.3	Mikroaspiracja	299
11.3.4	Biofilm	299
11.3.5	Układ oddechowy rur respiratora	300
11.3.6	Żywienie enteralne	300
11.3.7	Zapalenie zatok	301
11.3.8	Dodatkowy sprzęt podczas wentylacji mechanicznej	303
11.4	Pozycja pacjenta	304
11.5	Rozpoznanie VAP	304
11.5.1	Metody pobierania próbek do badań	306
11.5.2	Interpretacja wyników badań	306
11.6	Zapobieganie NP/VAP	309
11.6.1	Mycie rąk	309
11.6.2	Karmienie i odżywianie	309
11.6.3	Profilaktyka wrzodu stresowego	310
11.6.4	Antybiotyki stosowane powierzchniowo	310
11.7	Interwencje dotyczące rurki dotchawiczej i obwodu oddechowego respiratora	311
11.8	Leczenie zapalenia zatok pochodzenia szpitalnego	312
11.9	Leczenie	312
11.9.1	Oporność na antybiotyki	312
11.9.2	Farmakokinetyka	315
11.9.3	Czas trwania leczenia	318
11.9.4	Brak odpowiedzi na leczenie	318
11.9.5	Cykliczna zmiana leków	321
	Piśmiennictwo	322

12	Zaprzestanie wentylacji mechanicznej	331
12.1	Parametry zakończenia wentylacji	333
12.2	Parametry oceniające zdolność utlenowania	334
12.2.1	Współczynnik P_aO_2/FiO_2	334
12.2.2	Gradient A-a DO_2	335
12.2.3	Współczynnik $P_aO_2/P_{alv}O_2$	335
12.3	Parametry oceniające wydajność mięśni oddechowych	335
12.3.1	P_{imax}	335
12.3.2	Pojemność życiowa	336
12.3.3	Wentylacja minutowa	337
12.3.4	Częstość oddechów	337
12.4	Parametry oceniające centralny napęd oddechowy	337
12.4.1	Ciśnienie okluzji dróg oddechowych	337
12.4.2	Średni przepływ wdechowy (V_T/T_i)	338
12.5	Podatność układu oddechowego i praca oddychania	338
12.5.1	Praca oddychania	338
12.5.2	Podatność układu oddechowego	339
12.6	Wskaźniki zintegrowane	340
12.6.1	Uproszczony indeks odłączania	341
12.7	Metody odłączania	341
12.7.1	Próba oddechu spontanicznego (odłączanie z użyciem rurki T)	342
12.7.2	Synchronizowana przerywana wentylacja obowiązkowa (SIMV)	344
12.7.3	Wentylacja wspierana ciśnieniowo (PSV)	344
12.7.4	Nieinwazyjna wentylacja z dodatnimi ciśnieniami (NIPPV)	346
12.7.5	Usunięcie rurki intubacyjnej z dróg oddechowych pacjenta (ekstubacja)	346
	Piśmiennictwo	348
13	Wentylacja nieinwazyjna w ostrej niewydolności oddechowej	351
13.1	NIV i CPAP	351
13.2	Mechanizm działania	351
13.2.1	Połączenie respiratora z pacjentem podczas NIV (interfejs)	354
13.2.2	Tryby wentylacji	356
13.2.3	Respiratory	356
13.2.4	Nawilżanie w NIV (patrz także Rozdz. 15)	357
13.3	Przecieki gazów	358
13.4	Wskazania do NIV	360
13.4.1	Ostra niedotlenieniowa niewydolność oddychania	360
13.4.2	Hiperkapniczna niewydolność oddechowa	361

13.4.3 Wskazania różne	362
13.4.4 Działania w celu rozpoczęcia NIV	363
13.4.5 Powikłania	364
13.4.6 Przeciwwskazania	367
13.4.7 Wyniki leczenia	367
Piśmiennictwo	368

14 Wentylacja z ujemnymi ciśnieniami wywieranymi

na klatkę piersiową	373
14.1 Respiratory komorowe (żelazne płuca)	374
14.2 Respiratory płaszczowe	374
14.3 Respiratory pancerzowe (muszlowe)	375
14.4 Tryby wentylacji z ciśnieniem ujemnym	375
14.5 Niedogodności wentylacji z ujemnymi ciśnieniami	376
Piśmiennictwo	377

15 Nawilżanie mieszaniny oddechowej podczas

wentylacji mechanicznej	380
15.1 Rola błony śluzowej nosa	380
15.2 Granica wysycenia izotermicznego	380
15.3 Wpływ rurki dotchawiczej	381
15.3.1 Powietrze przegrzane	382
15.4 Nawilżacze ogrzewane	383
15.5 Wymienniki ciepła i wilgotności	384
15.6 Nawilżanie dróg oddechowych podczas wentylacji nieinwazyjnej	386
Piśmiennictwo	387

16 Leczenie aerozolami podczas wentylacji mechanicznej

16.1 Nazewnictwo	391
16.2 Zachowanie się cząsteczek	392
16.3 Urządzenia do dostarczania aerozoli	392
16.3.1 Nebulizatory strumieniowe (pneumatyczne)	392
16.3.2 Nebulizatory ultradźwiękowe	395
16.3.3 Wibracyjne nebulizatory siatkowe (VMN)	395
16.3.4 Nebulizacja u pacjenta wentylowanego	395
16.3.5 Nebulizacja innych leków	398
16.3.6 Inhalatory ciśnieniowe o ustalonej dawce (MDI)	398
Piśmiennictwo	400

17 Niekonwencjonalne metody leczenia i tryby

wentylacji mechanicznej	404
17.1 Wentylacja wysokimi częstotliwościami	405

17.2 Wentylacja wysokimi częstotliwościami z dodatnim ciśnieniem	406
17.3 Wentylacja dyszowa (strumieniowa) wysokimi częstotliwościami	407
17.4 Wentylacja oscylacyjna wysokimi częstotliwościami	409
17.5 Wentylacja uderzeniowa (perkusyjna) wysokimi częstotliwościami	410
17.6 Zewnątrzustrojowe metody podtrzymywania wymiany gazowej	410
17.6.1 Zewnątrzustrojowe utlenowanie błonowe – oksygenacja pozaustrojowa (ECMO)	411
17.6.2 Zewnątrzustrojowe usuwanie CO ₂	411
17.6.3 Wskazania do zastosowania zewnątrzustrojowych metod podtrzymywania wymiany gazowej	412
17.6.4 Przeciwwskazania do zewnątrzustrojowych metod podtrzymania wymiany gazowej	412
17.7 Tlenek azotu	413
17.8 Leczenie surfaktantem	415
17.9 Mieszaniny helowo-tlenowe	417
17.10 Wentylacja płynowa	418
17.10.1 Całkowita wentylacja płynowa	419
17.10.2 Częściowa wentylacja płynowa	419
17.11 Wentylacja wspomagana impulsami nerwowymi	420
17.12 Podsumowanie	421
Piśmiennictwo	421
18 Studium przypadków klinicznych zastosowania wentylacji mechanicznej	425
18.1 Przypadek 1	425
18.2 Przypadek 2	428
18.3 Przypadek 3	429
18.4 Przypadek 4	430
18.5 Przypadek 5	431
18.6 Przypadek 6	432
18.7 Przypadek 7	434
18.8 Przypadek 8	435
18.9 Przypadek 9	436
18.10 Przypadek 10	438
18.11 Przypadek 11	439
18.12 Przypadek 12	441
Indeks	444