

# Spis treści

<b>1 Historyczne aspekty wentylacji mechanicznej</b> .....	<b>1</b>
Piśmiennictwo .....	6
<b>2 Wskazania do wentylacji mechanicznej</b> .....	<b>8</b>
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
<b>3 Istotne zmiany fizjologiczne podczas wentylacji mechanicznej</b> ....	<b>16</b>
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
<b>4 Konwencjonalne tryby wentylacji mechanicznej</b> .....	<b>61</b>
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	Zmienna wentylacji mechanicznej	64
4.1.6	Zmienna wyzwalania oddechu („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	<i>Fala kwadratowa</i> . . . . .	106
5.5.2	<i>Fala opadająca</i> . . . . .	107
5.5.3	<i>Fala narastająca</i> . . . . .	107
5.5.4	<i>Fala sinusoidalna</i> . . . . .	107
5.6	Czułość triggera (wyzwalacza) . . . . .	107
5.7	Dodatnie ciśnienie w końcowej fazie wydechu (PEEP) . . . . .	108
5.7.1	<i>Poprawa utlenowania</i> . . . . .	109
5.7.2	<i>Zapobieganie barotraumie i uszkodzeniu płuc</i> . . . . .	110
5.7.3	<i>Ograniczanie auto-PEEP</i> . . . . .	110
5.8	Wskazania do zastosowania PEEP . . . . .	111
5.9	Rodzaje PEEP . . . . .	111
5.10	Stopniowe zwiększanie wartości PEEP . . . . .	111
5.10.1	<i>Inne zalety PEEP</i> . . . . .	113
5.10.2	<i>Wady PEEP</i> . . . . .	115
5.11	Optymalizacja parametrów respiratora w celu uzyskania lepszego utlenowania . . . . .	115
5.11.1	<i>Zwiększenie <math>FiO_2</math></i> . . . . .	115
5.11.2	<i>Zwiększenie wentylacji pęcherzykowej</i> . . . . .	115
5.12	PEEP . . . . .	116
5.12.1	<i>Kształt fali przepływu</i> . . . . .	116
5.12.2	<i>Czas wdechu</i> . . . . .	116
5.12.3	<i>Odwrócony stosunek wdech/wydech</i> . . . . .	117
5.12.4	<i>Wentylacja w ułożeniu na brzuchu</i> . . . . .	117
5.12.5	<i>Zmniejszenie zużycia tlenu</i> . . . . .	117
5.12.6	<i>Zwiększenie pojemności tlenowej krwi</i> . . . . .	117
5.12.7	<i>Uwaga</i> . . . . .	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

<b>7 Monitorowanie wymiany gazowej u pacjentów wentylowanych mechanicznie</b> .....	<b>130</b>
7.1 Ciśnienie parcjalne tlenu we krwi tętniczej .....	130
7.2 Pulsoksymetria .....	137
7.2.1 Zasada pulsoksymetrii .....	139
7.3 Monitorowanie przeskórne gazów we krwi .....	148
7.4 Monitorowanie utlenowania w tkankach .....	149
7.4.1 Współczynnik wychwytywania tlenu i $DO_{2\text{crit}}$ .....	150
7.5 Kapnografia .....	153
Piśmiennictwo .....	160
<b>8 Monitorowanie biomechaniki płuc podczas wentylacji mechanicznej</b> .....	<b>163</b>
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 wspomaganie 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 wyzwiania .....	196
8.4.6 Brak synchronizacji przepływu .....	198
Piśmiennictwo .....	208
<b>9 Wentylacja mechaniczna w różnych stanach chorobowych</b> .....	<b>210</b>
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 krtni. . . . .	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 hiperoksyyczna . . . . .	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
<b>11</b>	<b>Zapalenie płuc związane z wentylacją mechaniczną . . . . .</b>	<b>294</b>
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

<b>12 Zaprzestanie wentylacji mechanicznej</b> . . . . .	<b>331</b>
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 $P_aO_2/P_{aiv}O_2$ . . . . .	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 ( $V_T/T_V$ ) . . . . .	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 dodatkimi ciśnieniami (NIPPV) . . . . .	346
12.7.5 Usunięcie rurki intubacyjnej z dróg oddechowych pacjenta (ekstubacja) . . . . .	346
Piśmiennictwo . . . . .	348
<b>13 Wentylacja nieinwazyjna w ostrej niewydolności oddechowej</b> . . . . .	<b>351</b>
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	<i>Wskazania różne</i> .....	362
13.4.4	<i>Działania w celu rozpoczęcia NIV</i> .....	363
13.4.5	<i>Powikłania</i> .....	364
13.4.6	<i>Przeciwwskazania</i> .....	367
13.4.7	<i>Wyniki leczenia</i> .....	367
	<b>Piśmiennictwo</b> .....	368
<b>14</b>	<b>Wentylacja z ujemnymi ciśnieniami wywieranymi na klatkę piersiową</b> .....	<b>373</b>
14.1	Respiratory komorowe (żelazne płuca) .....	374
14.2	Respiratory płaszczowe .....	374
14.3	Respiratory pancierzowe (muszlowe) .....	375
14.4	Tryby wentylacji z ciśnieniem ujemnym .....	375
14.5	Niedogodności wentylacji z ujemnymi ciśnieniami .....	376
	<b>Piśmiennictwo</b> .....	377
<b>15</b>	<b>Nawilżanie mieszaniny oddechowej podczas wentylacji mechanicznej</b> .....	<b>380</b>
15.1	Rola błony śluzowej nosa .....	380
15.2	Granica wysycenia izotermicznego .....	380
15.3	Wpływ rurki dotchawiczej .....	381
15.3.1	<i>Powietrze przegrzane</i> .....	382
15.4	Nawilżacze ogrzewane .....	383
15.5	Wymienniki ciepła i wilgotności .....	384
15.6	Nawilżanie dróg oddechowych podczas wentylacji nieinwazyjnej .....	386
	<b>Piśmiennictwo</b> .....	387
<b>16</b>	<b>Leczenie aerozolami podczas wentylacji mechanicznej</b> .....	<b>391</b>
16.1	Nazewnictwo .....	391
16.2	Zachowanie się cząsteczek .....	392
16.3	Urządzenia do dostarczania aerozoli .....	392
16.3.1	<i>Nebulizatory strumieniowe (pneumatyczne)</i> .....	392
16.3.2	<i>Nebulizatory ultradźwiękowe</i> .....	395
16.3.3	<i>Wibracyjne nebulizatory siatkowe (VMN)</i> .....	395
16.3.4	<i>Nebulizacja u pacjenta wentylowanego</i> .....	395
16.3.5	<i>Nebulizacja innych leków</i> .....	398
16.3.6	<i>Inhalatory ciśnieniowe o ustalonej dawce (MDI)</i> .....	398
	<b>Piśmiennictwo</b> .....	400
<b>17</b>	<b>Niekonwencjonalne metody leczenia i tryby wentylacji mechanicznej</b> .....	<b>404</b>
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 <sub>2</sub> . . . . .	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 Mieszanki 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**

<b>wentylacji mechanicznej. . . . .</b>	<b>425</b>
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
------------------	-----