

特 集

成人型高頻度振動換気法の適応・方法・効果

成人 ARDS に対する HFOV 導入基準と初期設定

長野 修¹⁾・平山敬浩²⁾・芝 直基²⁾・寺戸通久³⁾
池上徹則⁴⁾・朴 範子⁵⁾・佐藤圭路⁶⁾・市場晋吾³⁾

キーワード：高頻度振動換気（HFOV），成人 ARDS，肺保護換気

要 約

高頻度振動換気（high-frequency oscillatory ventilation : HFOV）は、成人 ARDS に対する「肺保護換気」として有効である。さらに、通常換気の肺保護戦略より優れている可能性があり、本年 11 月に公表される大規模比較試験（OSCAR trial）の結果が注目される。HFOV は肺保護戦略施行中の患者に適応すべきであり、導入基準は明確ではないが oxygenation index $\geq 10 \sim 15$ であろう。そのほか、換気不足を来す症例にも適応がある。R100 (Metran) は振動数 8～10Hz、3100B (Sensormedics) は 5Hz で開始する。最大パワー（回路内圧振幅最大）のまま換気が維持できる限り振動数を高めることで stroke volume が最小化される。平均気道内圧は移行直前の値 +5 cmH₂O がよく用いられるが、平均肺拡張圧が解離する場合があり注意が必要である。

はじめに

本稿では、成人 ARDS に対する高頻度振動換気（high-frequency oscillatory ventilation : HFOV）の適応と初期設定に関して肺保護効果の追求という観点から述べる。

I. HFOV の有効性に関する evidence

1. 「肺保護換気」としての有効性

HFOV は、1 回換気量（stroke volume : SV）が小さく肺胞内圧変動が少ないため「肺保護換気」としての有効性が期待されてきた。しかし、単独の RCT では明確な予後改善を示し得ず、2010 年の meta-analysis¹⁾ で有効性が示された。この meta-analysis は Sensormedics 3100A/B を用いた小児と成人の 6 つの RCT を解析して予後改善（死亡の risk ratio=0.77、p=0.03、n=365）

を示したが、対照群が肺保護戦略でない RCT もある。そのため、通常換気（conventional ventilation : CV）の肺保護戦略を確立した ARDS network study²⁾ に 10 年遅れて「肺保護換気」としての市民権を得たことになる。

2. 通常換気（CV）の肺保護戦略との優劣

CV の肺保護戦略と HFOV の優劣は、2012 年 7 月末に終了した英国の大規模 RCT (OSCAR trial : Metran R100、振動数 10Hz) やカナダ等で進行中の大規模 RCT (OSCILLATE trial : 3100B、同 5Hz) で明確になる。OSCAR trial は本年 11 月に公表予定であり、10Hz の HFOV (R100) に関する初めての evidence として注目される。

現時点では recruitment を主目的に間欠的な HFOV を行った Mentzelopoulos らの RCT³⁾ (n=125) が唯一有効性を示している。対照群 (CV) は 1 回換気量 = 6 mL/kg、吸気プラトー圧 (Pplat) ≤ 30 cmH₂O の肺保護戦略、HFOV 群は 3100B を 4 Hz、吸気呼気比 (I:E) 1:2 で用い、気管内圧 (tracheal pressure : Ptr) が baseline Ptr + 3 cmH₂O となるように平均気道内圧

1) 高知大学医学部 災害・救急医療学講座

2) 岡山大学大学院医歯薬学総合研究科 救急医学講座

3) 岡山大学大学院医歯薬学総合研究科 地域医療学講座

4) 倉敷中央病院 救急医療センター

5) 県立広島病院 救命救急センター

6) 脳神経センター大田記念病院 救急科

(mean airway pressure : MAP) を設定した。HFOV 開始後に酸素化が改善すれば MAP を下げて CV へ移行し、CV 移行後に酸素化が悪化すれば上記作業を繰り返した。HFOV 群の Ptr は設定 MAP より 6 cmH₂O 程度低く、baseline MAP 約 22cmH₂O に対し初期 MAP 約 30cmH₂O (Day 1) で、生存退院率は有意に改善した (HFOV 群 62%、対照群 36%、p = 0.004)。

II. HFOV の適応と導入基準

1. 「肺保護換気」の選択肢としての適応

HFOV が「肺保護換気」としての市民権を得たことから、肺保護戦略の適応となる急性期 ARDS には適応があると言える。しかし、HFOV は深い鎮静や少なくとも短期間の筋弛緩を行うことが多いため、鎮静下の肺保護戦略を先行して適応を判断する。

2. 酸素化不全の適応

Oxygenation index (OI ; MAP ÷ P/F ratio × 100) が簡便で有用な単独の指標である。Bollen らの RCT (n = 61)⁴⁾ は対照群が肺保護戦略ではないが、OI > 20 で予後が改善した (OI > 30 で有意)。また、David らの case series (n = 42)⁵⁾ で生存群の OI が 18 (median、死亡群 : 33) であるため、我々は OI ≥ 15 ~ 20 を導入基準と考えてきた⁶⁾。MAP > 20cmH₂O、P/F < 100mmHg は OI > 20 であり、FiO₂ ≤ 0.6 を達成しがたい。また、PEEP = 15cmH₂O、Pplat = 30cmH₂O、I : E = 1 : 2 の CV は MAP = 20cmH₂O 程度である。そのため、OI > 20 は一般的な CV の一定の限界であり rescue としての適応に近い。

日本呼吸療法医学会が計画した RCT のプロトコル案は、FiO₂ ≥ 0.8 で 24 時間以上経過したものを対象外として早期導入を促し、OI ≥ 12 を導入基準とした⁷⁾。Amato らの RCT⁸⁾ で baseline OI は平均 10 ~ 13 であるため、OI ≥ 12 は肺保護戦略を行う急性期 ARDS の重症例約半数を意味する。現時点では、早期導入の考え方や習熟度に応じて各施設で OI ≥ 10 ~ 15 で導入基準を設定するか、症例ごとの判断になろう。

3. 換気不全の適応

HFOV (特に R100) は換気能力が高いため、CV の肺保護戦略で換気不足 (pH < 7.25 ~ 7.3) を来す症例や高炭酸ガス血症を避けたい症例は適応である⁷⁾。

III. HFOV 呼吸器の特性と肺保護の追究

1. R100 の特性と換気能力

プロワーが発生した風を一定時間 (0.5cycle 分) 繰り返しダイアフラムに当てて振動させ SV を発生する (プロアー方式)。吸気と呼気は高速回転するロータリーバルブで風の向きを切り替える。振動数を増すと風が当たる時間が短くなつてダイアフラムの振幅が小さくなり SV は減少する。そのため、プロアー出力最大時に発生する SV ("max SV" とする) は振動数にはほぼ反比例して減少する⁹⁾ (Table 1)。パネル表示される "max SV" は 5 Hz で 350mL、10Hz で 160mL (約 46%) である。また、"max SV" で回路内圧振幅 (amplitude) は最大である。一方、HFOV での換気 (Paco₂) は SV² × f (f: 振動数、式①) にはほぼ比例する¹⁰⁾。そのため、振動数を増すほど最大換気能力は低下する。SV の表示値で計算すると、最大換気能力は 10Hz では 5Hz の 42% となる。したがって、一定の換気を得る上で振動数に上限 ("max f" とする) が生じ、"max f" を超える振動数では換気不足を来すことになる。一般に呼吸器のパワー (SV 発生能力) が大きいほど "max f" は高く、3100B が 5 Hz 程度、R100 が 8 ~ 10Hz で用いられる所以である。

R100 が表示する SV (mL) は一定条件でのモデル肺実験 (compliance = 19.3mL/cmH₂O、負荷抵抗なし、8 mm 気管内チューブ) をもとに目盛られており、目安である。

2. SV を最小化する換気設定

式①から振動数が高いほど換気に要する SV が小さくなるため、一定の換気を得るうえで SV が最小となる設定は "max f" かつ "max SV" となる。すなわち、"max SV" (amplitude 最大) のまま換気が維持できる限り振動数を高めることで SV は最小化される。換気に余裕があれば "max SV" のまま振動数を増す (SV は減少) ことを考える。

単純には SV が最小であれば最も肺保護的と考えられるが、どこまで高い振動数を追究すべきか明確ではない。新生児は 15Hz を用い、現時点で成人の evidence は 5 Hz 程度 (3100B) に限られる。式①より 10Hz では 5 Hz の約 70% の SV で換気できるため 5 Hz と 10Hz では肺保護効果が異なる可能性があるが、OSCAR trial

Table 1 Results of our lung model study using R100

	Frequency	5Hz	8Hz	10Hz	12Hz	15Hz
R=0	measured MAP (cmH ₂ O)	28.8	29.2	27.8	26.2	29.0
	measured Ptank (cmH ₂ O)	28.6	28.4	27.3	25.5	28.4
	indicated amplitude (cmH ₂ O)	115	105	89	88	81
	measured amplitude (cmH ₂ O)	126	127	134	131	129
	estimated SV (mL)	386	229	185	147	115
R=20	measured MAP (cmH ₂ O)	29.1	30.1	29.0	28.4	30.4
	measured Ptank (cmH ₂ O)	29.6	30.8	29.2	29.5	31.3
	indicated amplitude (cmH ₂ O)	160	135	112	102	90
	measured amplitude (cmH ₂ O)	167	150	152	147	134
	estimated SV (mL)	216	127	103	83	63

HFOV ventilator was connected via 8mm ID endotracheal tube to the lung model (20 litters plastic container, compliance=19.3mL/cmH₂O) and ventilated with maximum power (MAP=30cmH₂O, base flow=30L/min). The airway pressure at Y-piece (measured amplitude and measured MAP) and the mean pressure in the lung model (measured Ptank) were measured by PF-300 (imtmedical, Buchs, Switzerland) under dry condition and estimated stroke volume (estimated SV) was calculated using the pressure swing in the lung model. All values are means of 5 measurements. R : added resistance (cmH₂O/L/sec), MAP : mean airway pressure.

(R100、10Hz) の結果を踏まえる必要がある。後述する平均肺拡張圧の問題から我々はR100で10Hzを上限とし、10Hzで換気に余裕があればSVを下げている。

3. 3100Bの特性とR100との比較

3100Bは電磁駆動（リニアモーター）によるピストン方式でダイアフラムを振動させてSVを発生する。Amplitudeを設定する点はR100と異なるが、基本的特性は同様で（Table 2）、amplitude最大（最大パワー）のまま換気が維持できる限り振動数を高めることでSVは最小となる¹¹⁾。基本的な回路構成は同じであるが、3100Bの回路は細くて短く、R100で呼気弁手前に装着されている逆止弁（一方向弁）がない。R100は呼気弁を自動調節して設定MAPを維持するが、3100Bは手動で調節する。

4. % Inspiratory Time (IT) または I:E

振動の1cycleのうち吸気相の占める割合（%）がIT（% Inspiratory Time）であり、I:Eは吸気呼気比である。R100はIT=50%（I:E=1:1）の固定、3100BはIT=33～50%（I:E=1:1～2）で可変である。Air trappingを危惧して3100Bは主にIT=33%で用いられてきた。しかし、IT=50%で“max SV”は最大⁹⁾（Table 2）、換気能力も最大である。そのため、肺保護上SVを最小にするにはIT=50%で高い振動数を目

指すべきである。3100Bを5Hz程度で用いるとSVはやや大きく、Sedeekらの羊の実験では4Hz、IT=50%、amplitude=60cmH₂Oで平均4.4mL/kgである¹²⁾。

IV. 換気に関するその他の設定や手技

1. 回路内定常流（Base flow/Bias flow：BF）

BFはMAPの維持と回路からのCO₂ washoutに必須で換気に関与する。R100は10～40L/min、3100Bは0～65L/minで設定できる。R100や3100Bは吸気側から振動させるため、呼気相で呼気が主に吸気側回路に引き出され、その呼気の一部が吸気相でBFにより呼気側回路に押し出される（CO₂ washout）。R100で10Hz、SV=160mL（“max SV”）、BF=40L/minでは1cycle当たりのBFは67mLである。そのため、我々はBFが多いほど換気は改善すると考え、自発呼吸対応の面からもBF=40L/min（R100）としてきた⁶⁾。しかし、この考えは正しくないことが示された。

NakeneらはR100で、1) モデル肺実験ではBFを増すと呼気弁が開いてSVが減少する、2) 臨床的にBFは換気にはほとんど影響しない、と報告した¹³⁾。我々もモデル肺実験（R100）で前者を確認した。さらに、BF増加によるSV減少を補正し、空気で満たしたモデル肺（20Lポリタンク）を純酸素で換気してモデル肺内の酸素濃度変化を指標として換気を評価した（8/10Hz、第33回日本呼吸療法医学会、2011年7月）。その結果、BF

Table 2 Results of our lung model study using 3100B

	Frequency	5Hz	8Hz	10Hz	12Hz	15Hz
IT=33% (R=0)	measured MAP (cmH ₂ O)	27.6	27.3	26.4	26.0	25.5
	measured Ptank (cmH ₂ O)	28.7	26.0	24.2	23.0	22.5
	indicated amplitude (cmH ₂ O)	78	78	81	79	78
	measured amplitude (cmH ₂ O)	138	140	146	143	132
	estimated SV (mL)	242	175	134	121	101
IT=33% (R=20)	measured MAP (cmH ₂ O)	26.9	26.0	24.9	23.9	23.8
	measured Ptank (cmH ₂ O)	24.2	19.6	17.6	16.3	15.7
	indicated amplitude (cmH ₂ O)	129	121	122	114	117
	measured amplitude (cmH ₂ O)	177	177	179	175	175
	estimated SV (mL)	155	109	86	75	64
IT=50% (R=0)	measured MAP (cmH ₂ O)	26.6	26.3	25.8	27.0	26.2
	measured Ptank (cmH ₂ O)	31.4	29.1	27.9	28.2	26.5
	indicated amplitude (cmH ₂ O)	80	80	85	82	85
	measured amplitude (cmH ₂ O)	131	141	147	149	167
	estimated SV (mL)	273	191	162	144	103
IT=50% (R=20)	measured MAP (cmH ₂ O)	26.1	25.1	24.7	24.5	25.0
	measured Ptank (cmH ₂ O)	28.9	25.6	24.6	24.4	24.2
	indicated amplitude (cmH ₂ O)	133	127	125	114	106
	measured amplitude (cmH ₂ O)	166	172	173	171	173
	estimated SV (mL)	178	121	103	92	66

Details are same as Table 1. IT : inspiratory time.

の換気改善効果自体に ceiling を認め、上気道の死腔量程度の小さな SV では換気は BF 10L/min < BF 20L/min ≈ BF 30L/min ≈ BF 40L/min であった。また、より大きな SV では BF 増加による換気改善が大きく、換気は BF 10L/min < BF 20L/min < BF 30L/min ≈ BF 40L/min であった。Nakane らは R100 で BF=20L/min を用い¹³⁾、OSCAR trial も同様である。また、3100B (5 Hz) では 30 ~ 50L/min で大差がないという¹⁴⁾。そのため、リークがなければ R100 (8 ~ 10Hz) は 20L/min、3100B (5 Hz 程度) は 30L/min が適当であろう。R100 では過剰な BF は SV を減少させて換気を悪化する可能性がある。

2. 上気道の死腔とカフリーク

HFOV は SV が小さいために換気効率が悪く、上気道の死腔は換気に大きく影響する⁶⁾。Tracheal gas insufflation (TGI)¹⁵⁾ や tracheal gas aspiration¹⁶⁾ は死腔を実質的に減少させて高い振動数での使用を可能にする。気管内チューブのカフリークも同様で、3100B を 7 ~ 8 Hz で使用するために推奨される¹¹⁾。しかし、人工呼吸器関連肺炎のリスクが危惧され、R100 (8 ~ 10Hz)

では必要性が低い。3100B では MAP 低下の程度で定量的にリークを作成し、続いて呼気弁と BF を調整して MAP を戻す。R100 はリークに対応して呼気弁が作動し、定量的な作成が難しい。Mentzelopoulos らは TGI (約 6 L/min) とカフリーク (3 ~ 5 cmH₂O) を併用したが、4 Hz のまま換気を調節した³⁾。

死腔付加は換気を悪化させる（長すぎる気管内チューブ、無用なアングル等）。閉鎖式気管内吸引システムは死腔付加であるが、open lung approach 実施上必須であろう。

3. 回路構成等

呼気側回路におけるガスの圧縮膨張も CO₂ washout に関与する可能性がある。また、Y-piece の形状は口元でのガスの流れに影響する。そのため、回路構成や形状変更は CO₂ washout に影響する可能性があるが、十分検討されていない。

V. 平均肺拡張圧と MAP の解離

1. 回路内圧波形ならびに IT と平均肺拡張圧

理想的な HFOV は、回路内圧波形が正弦波で SV

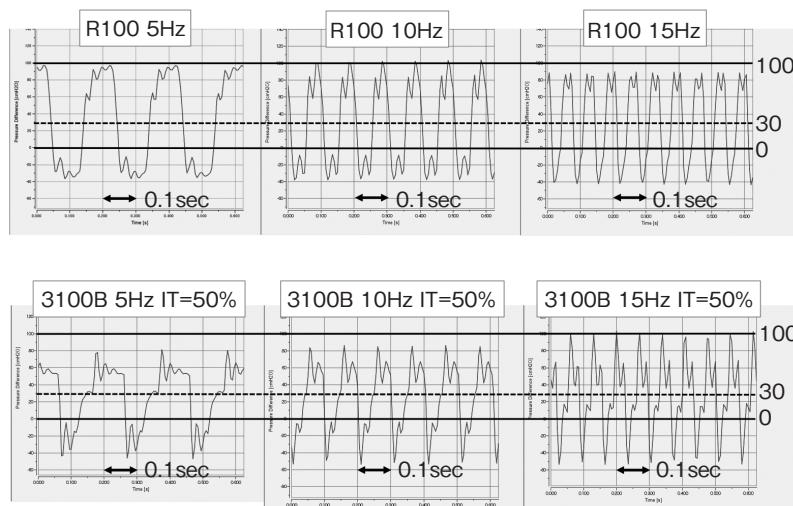


Fig. 1 Typical airway pressure waveforms in our lung model study

Typical airway pressure waveforms at Y-piece measured by PF-300 (imtmedical, Buchs, Switzerland) were illustrated. Other details are same as Table 1. IT : inspiratory time.

(amplitude) や振動数を変えても MAP は変化せず、換気と酸素化が独立して調節できる。しかし、実際の回路内圧波形は正弦波ではなく (Fig.1)、3100B は矩形波に近い¹⁰⁾。さらに、回路内圧波形や IT に依存して平均肺拡張圧と MAP が解離する¹⁷⁾。圧波形を矩形波、IT = 33%としたシミュレーションでは amplitude に比例して肺内圧が低下し、amplitude = 90cmH₂O で 6 ~ 7 cmH₂O 低下した (3-5-7Hz)¹⁰⁾。この結果は Mentzelopoulos らの報告³⁾に近似する。

我々が行ったモデル肺実験結果の一部を Table 1、Table 2 に示す (第 33 回日本呼吸療法医学会、2011 年 7 月)。R100(負荷抵抗なし)ではモデル肺内圧(P_{tank})は設定 MAP よりやや低く (最大 4.5cmH₂O、12Hz)、3100B では特に IT = 33%で抵抗負荷時に振動数増加に伴い低下した (最大約 14cmH₂O)。設定 MAP と実測値、表示 amplitude と実測値も解離し、呼吸器が表示する MAP や amplitude の誤差が示唆される。

平均肺拡張圧と設定 MAP が解離する場合、換気と酸素化の独立調節性が失われ、換気条件の変更が酸素化に影響する。我々はこの点を危惧して R100 で 10Hz を上限としている。一方、3100B は IT = 50%で用いるべきであろう。

2. 平均肺拡張圧の計測

Mentzelopoulos らは気管内に細いチューブを留置して P_{tr} を計測した³⁾。気管内チューブをクランプする

ことで平均肺拡張圧が計測できる。R100 (10Hz) での経験 (ARDS 患者、生食肺洗浄豚) では設定 MAP よりやや低め～同等であった。今後、簡便な計測法の開発や臨床データの集積が望まれる。

VI. HFOV 移行時の換気設定

1. HFOV への移行

R100 は CV モードを装備しており HFOV への移行が容易である。呼吸器を付け替える場合、筋弛緩下では一時的に気管内チューブをクランプして肺虚脱を予防する。

2. SV または amplitude

SV (R100) や amplitude (3100B) を低めに設定して HFOV を開始し、SpO₂ や循環動態と胸壁振動を観察しながら SV や amplitude を増加させる。SV や amplitude が最大となるか、その前に胸壁振動が十分と判断すれば 10 ~ 15 分後に血液ガス分析を行う。pH に余裕があれば振動数を高めて SV や amplitude を最大まで増加させる。pH > 7.4 ~ 7.35 は換気過剰、pH < 7.25 ~ 7.3 は換気不足である。

3. 振動数

通常、R100 では 10Hz、3100B では 5Hz で開始する。OSCAR trial (R100) も同様 (SV = 100mL) である。R100 で 8 Hz を推奨する意見もあり (櫻谷ら、第 34

回日本呼吸療法医学会、2012年7月)、体重や移行前の Paco_2 による使い分けが可能であろう。“max SV”(amplitude最大)で換気過剰の場合には振動数を高める。我々はR100で10Hzを上限としているが、3100Bは5Hzより高い振動数を追求する方向にある^{11, 18)}。一方、換気不足では“max SV”(amplitude最大)のまま振動数を1Hzずつ低下させて評価する。

VII. 酸素化に関する初期設定

1. Open lung approachの重要性

酸素化の改善と肺保護には肺容量の確保(open lung approach)が重要である。そのためにrecruitment手技と高めのMAP設定が用いられる。

2. 高めのMAP設定

初期MAP設定は、移行直前のMAP(MAP_{cv}とする)より5cmH₂O高くする方法(MAP_{cv}+5)がよく用いられ⁶⁾、OSCAR trialも同様である。しかし、肺拡張圧と設定MAPの解離には留意する。Mentzelopoulosらは3100B(4Hz、IT=33%)でPtrを指標にMAPを設定し、MAP_{cv}+8程度であった³⁾。また、MAPがCVのPplatよりも低い場合には経時にderecruitmentを生じる可能性があるため¹⁹⁾、Pplat程度(28~30cmH₂O)の高めの設定が望ましい。Fesslerらは3100B(IT=33%)で34cmH₂Oを推奨し¹¹⁾、OSCILLATE trialは30cmH₂Oとしている。一旦初期MAP設定が決まれば、胸部レントゲン写真で肺容量を評価する。また、高いMAPによる循環抑制に注意する。胸郭外陰圧の併用でMAP設定を低めにすることは可能かもしれない²⁰⁾。

背側のconsolidationが強固な場合や心拡大の影響を受けている場合は、高いMAPによってもrecruitmentが得られにくく、換気領域が過膨張して肺血流をシフトし酸素化が悪化する可能性がある。この場合、体位呼吸療法の併用を考慮する。

3. Recruitment手技

虚脱肺胞を再開通させるrecruitment手技は35~45cmH₂O、30~45secのCPAPを用いるが^{7, 11)}、我々は低めの圧から行っている⁶⁾。MentzelopoulosらのRCTでは45cmH₂O、40secとし毎日4回以上行った³⁾。このようにHFOV移行時ののみの施行に限らない。

4. HFOV移行時の酸素濃度(FiO_2)設定

OSCAR trialでは $\text{FiO}_2=1.0$ としたが、CVで $\text{SpO}_2=90\sim95\%$ 程度となる FiO_2 (P/F ratio $\leq60\text{mmHg}$ なら $\text{FiO}_2=1.0$)で移行してリアルタイムに酸素化の変化を評価する。

VIII. 自発呼吸温存の是非、その他

肺保護の観点から経肺圧 $\leq30\text{cmH}_2\text{O}$ が望ましいが、高いMAP設定では自発呼吸に伴う胸腔内陰圧によって容易に経肺圧 $>30\text{cmH}_2\text{O}$ となる可能性が高い。そのため、強い吸気努力は明らかに危険であり、MAPが高い時期は自発呼吸を容認しない方が安全である。MentzelopoulosらのRCTでは間欠的に筋弛緩薬を投与した³⁾。

また、常にCVモードに変更できる状況にしておく。R100は換気モードの変更が容易で、定期的にCVとして肺野の聴診が可能である。

参考文献

- Sud S, Sud M, Friedrich JO, et al : High frequency oscillation in patients with acute lung injury and acute respiratory distress syndrome (ARDS) : systematic review and meta-analysis. BMJ. 2010 ; 340 : c2327.
- Acute Respiratory Distress Syndrome Network : Ventilation with lower tidal volumes as compared with traditional tidal volumes for acute lung injury and acute respiratory distress syndrome. New Engl J Med. 2000 ; 342 : 1301-1308.
- Mentzelopoulos SD, Malachias S, Zintzaras E, et al : Intermittent recruitment with high-frequency oscillation/tracheal gas insufflation in acute respiratory distress syndrome. Eur Respir J. 2012 ; 39 : 635-647.
- Bollen CW, van Well GTJ, Sherry T, et al : High frequency oscillatory ventilation compared with conventional mechanical ventilation in adult respiratory distress syndrome : a randomized controlled trial. Crit Care. 2005 ; 9 : R430-439.
- David M, Weiler N, Heinrichs W, et al : High-frequency oscillatory ventilation in adult acute respiratory failure. Intensive Care Med. 2003 ; 29 : 1656-1665.
- 長野修、氏家良人：HFOV. 救急医学. 2004 ; 28 : 1317-1323.
- 日本呼吸療法医学会 多施設共同研究委員会：HFO trialプロトコール(案)：高頻度振動型人工呼吸器による重症呼吸不全患者の呼吸管理. 人工呼吸. 2000 ; 17 : 92-96.
- Amato MBP, Barbas CSV, Medeiros DM, et al : Effect of a protective-ventilation strategy on mortality in the acute respiratory distress syndrome. N Engl J Med. 1998 ; 338 : 347-354.
- Iguchi N, Hirao O, Uchiyama A, et al : Evaluation of performance of two high-frequency oscillatory ventilators using

- a model lung with position sensor. J Anesth. 2010; 24: 888-892.
- 10) Pillow JJ : High-frequency oscillatory ventilation : Mechanisms of gas exchange and lung mechanics. Crit Care Med. 2005; 33: S135-141.
 - 11) Fessler HE, Derdak S, Ferguson ND, et al : A protocol for high-frequency oscillatory ventilation in adults : Results from a roundtable discussion. Crit Care Med. 2007; 35: 1649-1654.
 - 12) Sedeek KA, Takeuchi M, Suchodolski K, et al : Determinants of tidal volume during high-frequency oscillation. Crit Care Med. 2003; 31: 227-231.
 - 13) Nakane M, Murakawa M, Sasaki C, et al : Measurement of stroke volume and pressure amplitude during high-frequency oscillatory ventilation. Am J Respir Crit Care Med. 2008; 177: A375.
 - 14) Mehta S, MacDonald R : Implementing and troubleshooting high-frequency oscillatory ventilation in adults in the intensive care unit. Respir Care Clin N Am. 2001; 7: 683-695.
 - 15) Dollan S, Derdak S, Solomon D, et al : Tracheal gas insufflation combined with high-frequency oscillatory ventilation. Crit Care Med. 1996; 24: 458-465.
 - 16) De Robertis E, Sigurdsson SE, Drefeldt B, et al : Aspiration of airway dead space : A new method to enhance CO₂ elimination. Am J Respir Crit Care Med. 1999; 159: 728-732.
 - 17) Pillow JJ, Neil H, Wilkinson MH, et al : Effect of I/E ratio on mean alveolar pressure during high-frequency oscillatory ventilation. J Appl Physiol. 1999; 87: 407-414.
 - 18) Fessler HE, Hager DN, Brower RG : Feasibility of very high-frequency ventilation in adults with acute respiratory distress syndrome. Crit Care Med. 2008; 36: 1043-1048.
 - 19) Nagano O, Fujii H, Morimatsu H, et al : An adult with ARDS managed with high-frequency oscillatory ventilation and prone position. J Anesth. 2002; 16: 75-78.
 - 20) Naito S, Hiroma T, Nakamura T : Continuous negative extrathoracic pressure combined with high-frequency oscillation improves oxygenation with less impact on blood pressure than high-frequency oscillation alone in a rabbit model of surfactant depletion. Biomed Eng Online. 2007; 6: 40.

Indication and Initial Settings of High-frequency Oscillatory Ventilation (HFOV) for Acute Respiratory Distress Syndrome (ARDS) in adults

Osamu NAGANO¹⁾, Takahiro HIRAYAMA²⁾, Naoki SHIBA²⁾, Michihisa TERADO³⁾
Tetsunori IKEGAMI⁴⁾, Noriko BOKU⁵⁾, Keiji SATO⁶⁾, Shingo ICHIBA³⁾

¹⁾ Department of Disaster and Emergency Medicine, Kochi University

²⁾ Department of Emergency and Critical Care Medicine, Okayama University Graduate School of Medicine, Dentistry and Pharmaceutical Sciences

³⁾ Department of Community and Emergency Medicine, Okayama University Graduate School of Medicine, Dentistry and Pharmaceutical Sciences

⁴⁾ Emergency Center, Kurashiki Central Hospital

⁵⁾ Emergency and Critical Care Center, Hiroshima Prefectural Hospital, Hiroshima

⁶⁾ Department of Emergency Medicine, Brain Attack Center, Oota Memorial Hospital

Key words : high-frequency oscillatory ventilation (HFOV), adult ARDS, lung protective ventilation

Abstract

High-frequency oscillatory ventilation (HFOV) has been proved to be effective for ARDS in adults. HFOV has also been supposed to be superior to the conventional "lung protective strategy" using ordinary mechanical ventilators. We are waiting for the publication on the results of OSCAR trial. The indication criteria for introducing HFOV is supposed to be hypoxic respiratory failure with oxygenation index $\geq 10-15$ and/or severe hypercapnia ($pH < 7.25-7.3$), unresponsive to conventional "lung protective strategy". Recommended initial settings are as follows : 1) Frequency of 8-10 Hz for R100 (Metran) and 5Hz for 3100B (Sensermedics), 2) Stroke volume can be minimized when frequency is increased with maximum power (*i.e.* maximum amplitude) as long as the quality of ventilation is acceptable as lung protection., 3) Mean airway pressure (MAP) is set at the baseline MAP with conventional ventilators plus 5cmH₂O. We should note that the initial settings of MAP may be dissociated from the actual lung distending pressures.