

□短 報□

## 携帯用人工呼吸器パラパック 2D の院内使用での性能検討

藤原 寛 行\* 中川 聡\* 阪井 裕 一\* 近藤 陽 一\*  
朝原 章 二\* 宮坂 勝 之\*

### ABSTRACT

Para Pac 2 D ; A new portable ventilator  
—Evaluation of its basic performance—

Hiroyuki FUJIWARA, Satoshi NAKAGAWA, Hirokazu SAKAI, Youichi KONDO,  
Shoji ASAHARA and Katsuyuki MIYASAKA

*Department of Anesthesia & ICU, National Children's Hospital,  
3-35-31, Taishido, Setagaya-ku, Tokyo 154*

We evaluated the performance of the new portable ventilator, Para Pac 2 D. A lung model was used to study the effects of various modes and breathing circuit configurations on delivery tidal volume, inspiratory time, respiratory rate,  $FI_{O_2}$  and the oxygen consumption rate of portable oxygen tank.

We found that the dial for tidal volume determines the flow rate, not the actual tidal volume, and that the dial for respiratory rate determines the inspiratory time. As a consequence, tidal volume is actually determined by the combination of these two dials.

This ventilator has two modes of  $FI_{O_2}$  (45% and 100%), the 45% mode being based on the Venturi effect. Our study showed that this Venturi effect was severely affected by the resistance of the airway and of the breathing circuit configuration, both of which influenced the actual tidal volume and  $FI_{O_2}$ .

This ventilator can be used conveniently during transportation or anesthesia in the hospital where a qualified person is always monitoring the patient, but the specific features of the machine with regard to tidal volume should be recognized.

### はじめに

救急の現場、あるいは人工呼吸中の患者の搬送に用いられる呼吸器は、簡便で小型なうえに消費ガス量が少ないと好都合であるが、人工呼吸器の小型化は、多くの機能省略をもたらす可能性を持

つ。しかしこうした人工呼吸器も生命維持に直接かかわる装置であり、装置自身の機能の正確性と信頼性が損なわれてはならない。この度、小型で簡便なガス駆動人工呼吸器パラパック 2D<sup>1)</sup>がニューパック社より発売され、その使用経験を得た。今回は、本装置が実際に最も用いられる病院内での臨床で問題となりうる諸機能の特性を実験し考察した。

\* 国立小児病院麻酔・集中治療科 (〒154 東京都世田谷区太子堂 3-35-31)

## 1. パラパック 2D

パラパック 2D は初代ニューパック小型人工呼吸器<sup>2)</sup>の改良型である。ガス駆動のための酸素ポンプが必要ではあるが、最近の軽量ポンプを用いれば総重量約 5 kg の携帯用人工呼吸器ができる。今回加えられた改良点は、本体の軽量化に加え、小児から成人まで幅広い患者層に対応すべく、換気量および換気回数設定が独立して調節可能となったこと、気道内圧計が装着されたこと、20 cmH<sub>2</sub>O から 80 cmH<sub>2</sub>O の幅で設定できる圧リリース機能を有すること、そして携帯用としての関心事の一つであるポンペのガス消費量を、吸入酸素濃度 45% モードを付加することにより減少させる工夫がなされていることなどである。これらの改良により、救急現場の蘇生器用としてだけでなく、院内での患者搬送や検査麻酔など多方面にわたる応用が期待される。

## 2. 方法

実験の目的で安定した供給圧を得るために、今回の実験は酸素ガス消費量測定実験を除いて全て中央配管酸素 (4.5 kg/cm<sup>2</sup>) を用いて行った。また、送気量の校正は全て空気で行った。

以下の 6 項目に関し、モデル系を用いて検討し

た。

- ① 一回送気量、
- ② 吸気時間、呼気時間、換気回数、
- ③ 吸入酸素濃度、
- ④ 吸気圧リリース弁精度、
- ⑤ 各種呼吸抵抗変化が送気量におよぼす影響、
- ⑥ 酸素ガス消費量測定。

これらの測定は、吸入酸素濃度 100% モードと 45% モードの双方で行い、比較も行った。測定を行った実験系の概略を図 1、図 2、図 3 に示した。

① の送気量測定は、図 1 のように呼吸弁より遠位側部に挿入したフライシュ型ニューモタコグラフ、およびアイビジョン社製 VM-8400 型呼吸モニターで行った。呼吸器に対する抵抗を取り除くために回路は開放系とした。② の呼吸時間などに関しては、図 2 のように装着した気道内圧信号を日本光電社製ポリグラフに記録し読み取った。③、④、⑤ に関しては同じく図 2 の回路を用い、Ohmeda 社製 5250 RGM 麻酔モニターにて測定した。このモデルでは容量 500 ml のプラスチック製容器をテスト肺として用いた。⑤ の実験では気管内チューブおよび PEEP の影響を調べた。気管内チューブサイズによる抵抗としては、国立

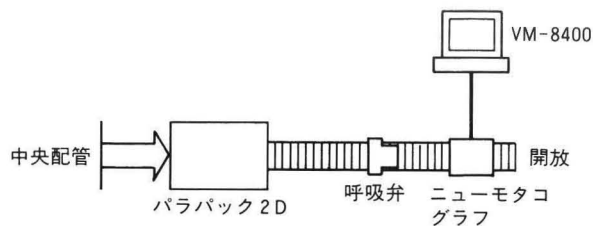


図 1

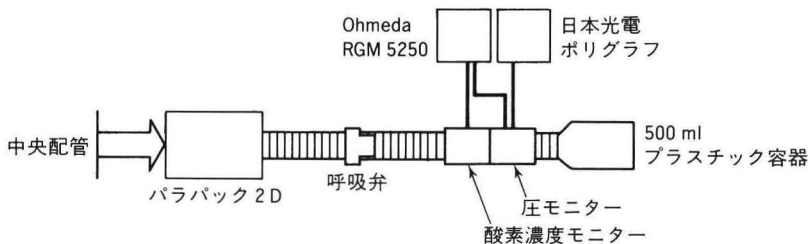


図 2

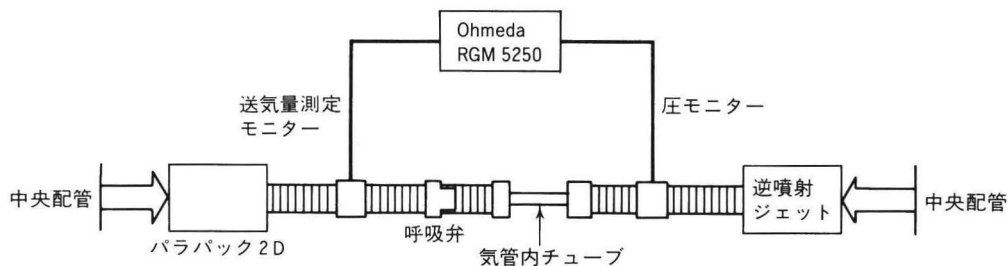


図 3

小児病院麻酔科ガイドライン<sup>3)</sup>ののっとり経口挿管用にあらかじめ切った Portex 社気管内チューブを回路内に挿入した。また、PEEP の影響を調べるために、回路内の気管内チューブより抹消側に逆噴射ベンチュリージェットによる PEEP 機構 (Penlon 社 Nuffield 200 型人工呼吸器) を接続し、最高で 10 cmH<sub>2</sub>O までの PEEP をかけた。なおこの場合、送気量測定が逆噴射ジェット流に影響されないように、送気量測定センサーは呼吸弁の中枢側に装着した (図 3)。⑥ の実験は容量 3.6 l, 150 kg/cm<sup>2</sup> の酸素ポンペを用いて図 2 と同様の回路で測定した。

### 結果および考察

今回の実験では、送気量測定の校正は全て空気で行った。このため酸素濃度が 21% から 100% の間の任意の値をとるこの実験系では、得られた値は理論的に最大で 12% の誤差を含むが、今回の検討の性格上あえて補正は行わなかった。

測定した実際の送気量は、回路内に特別な抵抗が無い場合、最低の換気量設定 (一回換気量設定 minimum, 換気回数設定 40/分) で 100 ml, 最大の換気量設定 (一回換気量設定 maximum, 換気回数設定 8/分) で 1,700 ml と、仕様書に記載された値を示した。この他の各種設定条件での送気量の測定結果は表 1 に示したが、データに示されるように、換気量設定ダイヤルは実は換気流量設定ダイヤルである。また、換気回数設定ダイヤルは、送気時間設定ダイヤルともなっているため、送気量は換気量設定ダイヤルと換気回数設定ダイヤルの双方で変化することになる。このためパネル面の換気回数設定表示は目安になるものの、換気量設定表示は標準的な使用設定の場合に

のみあてはまる。例えば一回換気量 500 ml, 換気回数 20/分付近に設定した場合一回換気量は 500 ml には近づくが、それ以外では表示された換気量が全く意味を持たない。

100% モードおよび 45% モードが吸入酸素濃度に及ぼす影響では、当然のことながら、100% モードでは影響はみられなかった。しかし、45% モードでは大きな影響がみられた。呼吸回路に抵抗が加えられない場合には設定値に近い酸素濃度であったが、なんらかの抵抗が加えられた場合および設定換気量が少ない場合には酸素濃度は上昇した。また、表 1 に示されたように、吸入酸素濃度は一回換気量が少なきほど上昇する傾向を示し、一回換気量設定が minimum では最高値の 95% を示した。これは 45% モードで採用されているベンチュリー効果<sup>4)5)</sup>による空気の引き込み効果が、低換気量あるいは高回路抵抗では減少するためである。空気の引き込み量の変動は当然送気量の変動も生じさせる。今回の検討から、45% モードは吸入酸素濃度を 45% にする目的ではなく、酸素ガス消費量を減少させるためのモードであると理解される。

前に述べた回路抵抗が送気量に及ぼす影響の結果は表 2 に示した。この回路内抵抗の送気量への影響は 45% モードを使用した場合に顕著であり、気管内チューブの内径を小さくし抵抗が増すほど、PEEP を高く設定するほど、そして一回送気量設定が少ないほど、実測送気量の減少がみられた。一方、標準的な成人の一回送気量付近では誤差が少なくなり、設定値に近い送気量が得られた。この送気量変化 (そして吸入酸素濃度の変化) は 45% モードで採用されているベンチュリー機構による空気の引き込み効果の影響による

表 1 設定換気量，換気回数と実測送気量，送気回数，酸素濃度，換気条件設定変更の影響

換気量設定 (ml)	回数設定 (/分)	*送気量 (ml)	*送気流量 (ml/秒)	吸気時間 (秒)	吸入酸素濃度(%) (100%/45%)
minimum	8	256	150	1.6	100/81
	15	174	156	1.3	100/90
	20	150	150	1.0	100/91
	30	122	154	0.8	100/95
	40	100	154	0.7	100/95
500	8	908	601	1.7	100/56
	15	634	602	1.4	100/56
	20	560	607	1.1	100/55
	30	403	639	0.9	100/61
	40	333	616	0.7	100/61
800	8	1135	773	1.7	100/55
	15	803	757	1.3	100/55
	20	652	766	1.1	100/54
	30	493	785	0.9	100/58
	40	413	761	0.7	100/57
maximum	8	1729	1215	1.7	100/53
	15	1246	1207	1.4	100/53
	20	1066	1201	1.0	100/56
	30	768	1209	0.9	100/57
	40	637	1229	0.7	100/57

\* 図1の回路で測定（その他は図2の回路で測定）し，吸入酸素濃度以外の値は100%モードで測定

表 2 回路内抵抗が送気量に及ぼす影響

圧	実測送気量 (ml)				
	チューブサイズ(ID) 3.0 mm	4.0 mm	5.0 mm	6.0 mm	なし
0 cmH <sub>2</sub> O	*315/260	390/375	415/430	420/445	435/460
5 cmH <sub>2</sub> O	*295/235	370/330	375/375	395/395	405/405
10 cmH <sub>2</sub> O	*275/220	370/305	380/335	380/345	380/350

設定（換気量 800 ml 換気回数 30/分 モード 100%/45%）

\*80 cmH<sub>2</sub>O 圧リリース弁作動

ものであるが，従量式設定に慣れた臨床医には注意が必要である。特に，表2に示されるように，気管内チューブ先端に10 cmH<sub>2</sub>OのPEEPのような域値圧を加えることによって実測送気量が減少することから，気管内チューブの内径の小さ

な小児以外に，肺コンプライアンスが低い成人症例でも換気圧が高くなれば送気量に影響がみられることが予想され，重症患者での使用の場合に留意する必要がある。以上述べたごとく，この人工呼吸器の場合，換気量設定による換気条件設定の

みに依存するのには無理があり、圧リリース弁を用いた圧制御換気 (Pressure Controlled Ventilation) が重要な対応法となる。このことから、今回組み入れられた圧リリース機構は、あくまで装置本体回路内の圧であり、患者の気道内圧を直接反映していないとはいえ、臨床的な意義は大きい。今回の検討で、この圧リリース弁の性能は表 3 に示すように、広い流量範囲で精度が保たれ信

頼できることがわかった。

酸素ガス消費量には、患者に送られる酸素ガス量と人工呼吸器の駆動に消費されるガス量の双方が関与する。本人工呼吸器の場合、駆動に用いられる酸素ガス消費は送気量に関係なく一回あたり 20 ml が消費されるとされており、理論的に酸素ガス消費量を予測することが可能である (表 4)。今回の検討では病棟で一般に用いられている 3.6 l, 150 kg/cm<sup>2</sup> のポンペを用い、140 kg/cm<sup>2</sup> から 20 kg/cm<sup>2</sup> までを 4 段階にわけ、おのおのの換気流量、換気量、酸素消費時間を実測した。結果は表 5 に示したが、実測送気量より計算上算出される酸素ガス消費時間と実測時間との誤差は少なく、45%モードは 100% モードのおよそ 1/3 の酸素消費量であった。また、ポンペの内圧が 20 kg/cm<sup>2</sup> まで変化しても安定した送気流量、送気量が得られた。

表 3 圧リリース弁の性能

圧リリース弁設定	実測最高値圧*
20 cmH <sub>2</sub> O	21 cmH <sub>2</sub> O
30	30
40	40
60	60
80	78

\* 流量設定最大の場合の最高値

表 4 予測酸素ガス消費量計算式

100% モードの場合

(毎分換気回数 × 20 ml + 毎分換気回数 × 一回換気量 ml 設定) ml/分

45% モードの場合

(毎分換気回数 × 20 ml + 毎分換気回数 × 一回換気量 ml 設定 / 3) ml/分

例 満充填 (150 kg/cm<sup>2</sup>) された 3.6 l ポンペの場合、酸素ガス量は約 540 l である。

換気設定 500 ml, 毎分 12 回では、100% モードでは毎分 6.24 l, 45% モードでは毎分 2.24 l の酸素ガス消費となり、それぞれ最大使用時間は約 80 分, 220 分と計算される。

表 5 酸素ガス消費量

設定条件 (換気量 maximum 換気回数 40/分 100% 吸入酸素濃度モード) の場合			
ポンペ気圧	送気量 (ml)	送気流量 (ml/秒)	消費時間
140 → 110	636	1400	3 分 36 秒
110 → 80	649	1398	4 分 04 秒
80 → 50	643	1401	4 分 03 秒
50 → 20	639	1403	3 分 57 秒
実測作動時間	15 分 40 秒	計算上の予測値	約 16 分
設定条件 (換気量 maximum 換気回数 40/分 45% 吸入酸素濃度モード) の場合			
ポンペ気圧	送気量 (ml)	送気流量 (ml/秒)	消費時間
140 → 110	648	1351	11 分 38 秒
110 → 80	652	1335	11 分 48 秒
80 → 50	670	1338	12 分 23 秒
50 → 20	666	1368	11 分 26 秒
実測作動時間	45 分 17 秒	計算上の予測値	約 49 分

同ポンペを完全充填して用いた場合、抵抗が無い場合の計算上ポンペ消費時間は送気量設定最大、換気回数設定40/分、100%モードの場合に最短となり約20分、送気量設定最少、換気回数8/分、45%モードの場合に最長となり約12時間となる。成人の標準的な設定である500ml×12回の場合にはおよそ4時間の連続使用が可能となる。しかし、前述したように換気圧が高い症例など人工呼吸器に抵抗が加わった場合には希望する換気量を得るため換気量設定をさらに上げなければならない場合もあり、酸素ガス消費量は増加することに注意する必要がある。これは45%モードにおいて顕著であると予想される。

#### まとめ

今回の検討から、パラパック2Dでは換気量設定ダイヤルは吸気流量ダイヤルであること、45%モードは酸素ガス消費節約モードであり、吸入酸素濃度、送気量ともに患者の状態に大きく左右されることがわかった。しかし、こうした特性を十分熟知したうえで使用すれば、このパラパック2Dは単に救急蘇生用のみならず、患者搬送や検査麻酔など院内患者での多方面にわたる応用が期待できる。特に圧制御換気法を用いれば全年齢層をカバーできる利点を有する。

パラパック2Dには気道内圧計が装着されているが、その他の安全機構や警報類はいっさい備わっていない。あくまで患者を直接モニター<sup>6)7)</sup>しながらの短期間の人工呼吸管理に限って用いるべきである。

(1992.12.11 受)

#### 引用文献

- 1) ニューパック社カタログ：パラパック2, 2D
- 2) 山内教宏, 岡崎直人, 斎藤憲輝ほか：蘇生用人工呼吸器新型Pneu PAC Model 2の検討. 蘇生4:97, 1986
- 3) David JS: 小児麻酔マニュアル, 第2版, 宮坂勝之, 山下正夫共訳, pp 49, 東京, 医歯薬出版, 1986
- 4) Scacci R: Air entrainment masks—Jet mixing is how they work; the Bernoulli and Venturi principles are how they don't. Respir Care 24:928-931, 1979
- 5) Campbell EJM and Gebbie T: Masks and tent for providing oxygen concentrations. Lancet 1:468-469, 1966
- 6) 羽鳥文麿, 片山正夫, 田中義枝ほか：小児の人工呼吸管理, 小児外科18(4):423-432, 1986
- 7) 盛 直久：人工呼吸中のモニタリング. 人工呼吸6:24-25, 1989