

〔一般演題〕

携帶用小型従量式人工呼吸器の使用経験

和 藤 幸 弘* 山 内 教 宏**
 斎 藤 憲 輝*** 佐 藤 嘴***

はじめに

わが国においても、近年の心肺蘇生法やその他の医療レベルの向上に伴い、自発呼吸は不能でも、人工呼吸管理によって長期に生存することができる高位頸髄損傷患者や神経筋の高度障害患者などが増加してきている。

しかし、このような患者に使用する長期人工呼吸器の多くは従量式電気駆動であり、また大型であるため、車椅子に載せて移動したり外出したりすることが困難であった。現在、ガス駆動の軽量小型の人工呼吸器は入手可能であるが、気道の乾燥の問題だけでなく、ボンベを必要とするため、ボンベの重量や稼動時間に致命的な制約を受ける。そこでわれわれは、このような患者が外出したり、自宅療養できるような電気駆動の小型従量式人工呼吸器を試作¹⁾したので報告する。

試作時の条件

人工呼吸器設計にあたり、次のことを必要条件と考えた。

① 小型であり、一般の車椅子の座席下のスペース (330 (W) × 278 (D) × 320 (H) mm) に搭載可能であること。

② 一回換気量、換気回数が独立したダイアルで設定でき、I/E 比が自動的に一定となること。

③ 電源は、1) 家庭用 AC 100 V, 2) 自動車用 DC 12 V, 3) 専用バッテリー DC 12 V のいずれでも使用できること。なお、バッテリーは2時間以上使用できる容量をもつこと。

④ 警報機構として、回路リーク、電圧低下、交流電源途絶時などに警報音を発すること。

以上の条件を満たし、かつ消費電力を少なくするため、小型の直流モーターを選択し、車椅子の下に搭載できるようにモーターとベルーズ、呼吸回路を組合せて、図1、2のような携帶用従量式人工呼吸器を試作した。

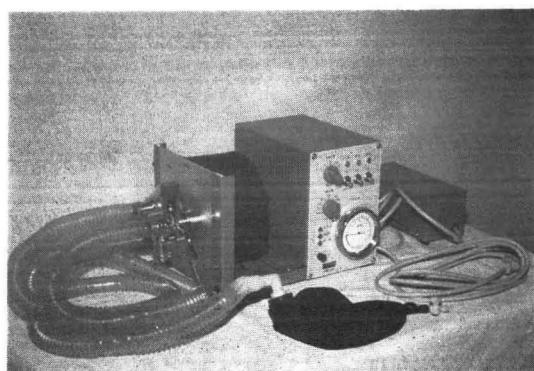


図 1 試作した携帶用人工呼吸器と2時間作動用バッテリー

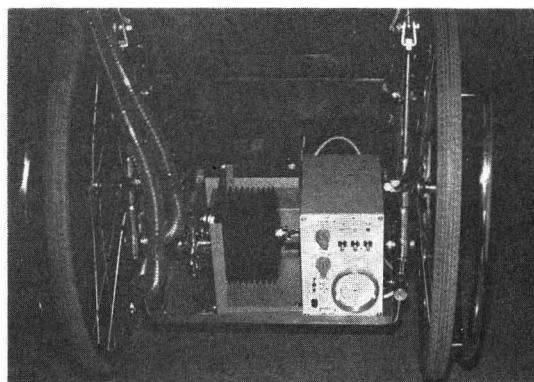


図 2 試作した人工呼吸器
 この人工呼吸器と2時間作動用バッテリーを一般的の車椅子の下に搭載したところ。

* 鳥取大学医学部附属病院手術部

** 鳥取大学医学部附属病院救急部

*** 鳥取大学医学部麻酔学教室

試作した携帯用人工呼吸器の仕様

1) 概要

充電可能なバッテリー動作を主体とする携帯用人工呼吸装置で、小型直流モーターでベローズを駆動して換気（呼吸）を行う。

2) 大きさ（本体）

270 (W) × 195 (D) × 190 (H) mm, 重量 9.8 kg

3) 操作

パネル操作は図3に示したごとく、AC用とDC用の電源スイッチ、充電スイッチ、アラーム停止スイッチなどのほか、① 一回換気量の設定（400 ml～50 ml 間隔～800 ml）と、② 呼吸回数の設定（10回/分～2回間隔～18回/分とした）ができるようにした。

4) 入力

制御基板への入力は、① 電源（AC 14 V, 3 A を全波整流および DC 12 V 電池）、② リミットスイッチ（通常は動作しない）、③ アラーム停止スイッチ（ノンロック）、④ 換気量位置センサー（換気量設定スイッチ）、⑤ 呼吸回数設定スイッチ

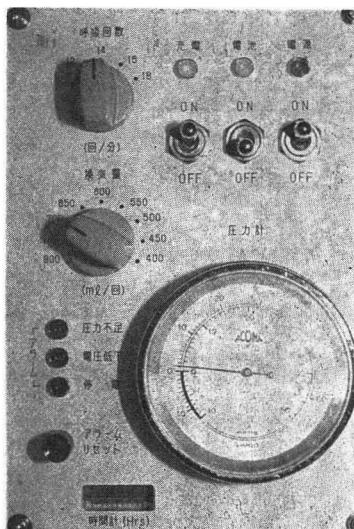


図3 操作パネル

スイッチは、AC用電源、DC用電源、充電用、アラーム停止。調節つまみは、呼吸回数と換気量だけで、容易に取り扱えるように工夫した。パネルには、回路内圧計、各種アラーム、時間計も組み込まれている。

の5種類とした。

5) 出力

制御部基板からの出力は、① DCモーター駆動信号（速度、時間は入力④、⑤による）、② モーター駆動に同期したクラッチ信号、③ アラーム信号、④ LED表示信号の4種類とした。

6) 動作

ベローズを圧縮換気する直流モーターは、制御信号により、スタート位置から呼吸回数設定値に基づく速度で回転し、換気量位置センサーの検知で停止する。

停止と同時にベローズ駆動用電磁クラッチは切り離され、ベローズは自己のスプリング作用により、スタート位置まで戻る。

この時間を含めたモーター停止時間は、上記のモーター回転時間の2倍となるように制御することにより、I/E比を1:2とした。

7) アラーム

① 装置の性格上、動作が“突然”停止すると大変なことになる。したがって、AC（家庭用）電源により動作中に停電した場合には、瞬時自動的に専用バッテリーに切り替わり、アラーム音と停電表示を行う。このアラームは、アラーム停止スイッチを押すことにより2分間停止し、その後も引き続き同じ状態にあれば、再び、アラーム音と停電表示を行う。停電が長引く場合には、AC電源を“切”とし、電池を“入”とすれば、電池のみで動作する。

② 回路内圧低下時：換気圧力が引き続き10秒以上3 cmH₂O以下となった場合。

③ 電圧低下時：12 V電源が9 V以下となった場合。

8) 電源

電源は、① AC 100 V (50/60 Hz)、② 専用バッテリー DC 12 V、③ 自動車用 DC 12 V とし、外部より電源回路へ侵入するスパイクノイズは通常100 mV以下である。ただし、電動工具、電気医療器の起動時などには2 Vpp程度のノイズが予想されるのでノイズフィルターなどを設けた。

9) 充電

専用バッテリーの充電は、通常AC動作中には、自動的に規定電圧まで充電する。

また、充電スイッチを“入”にすることにより、本体動作が停止中でも、AC電源により充電可能とした。

10) リミットスイッチ

リミットスイッチは、ベローズが圧縮され、設定換気量検知センサーで停止せず、さらに圧縮された場合に接となるマイクロスイッチで、このスイッチの接により、設定値に関係なくモーター停止とし、クラッチを断とし初期動作に帰る（したがって、通常はこのスイッチは動作しない）。

11) 専用バッテリー

① 2時間作動用：DC 12 V, 3.5 A, ニッケル・カドミウム電池、2.7 kg

② 8.5時間：DC 12 V, 15 A, 鉛電池、8.2 kg の2種類とし、目的により選択できるようにした。



図4 ハーバード浴治療中

人工呼吸器と8.5時間作動用バッテリーでこの患者を人工呼吸しながらハーバード浴を行っている。

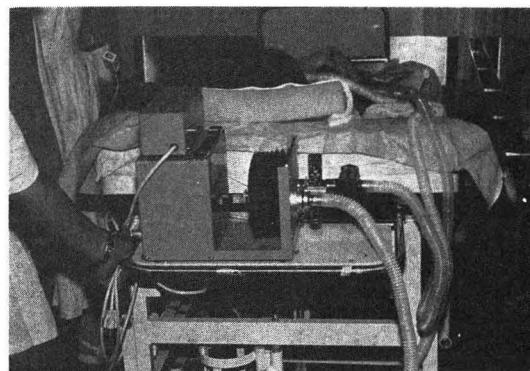


図5 エレベーター移送中

人工呼吸器と2時間作動用バッテリーでこの患者を人工呼吸しながら移送している。

症 例

39歳の男性（身長 165 cm、体重 65 kg）であり、外傷による高位脊髄損傷で自発呼吸不能のため、昭和59年8月より、当院にて約4年間、呼吸管理および全身管理継続中の患者で、C2以下の運動ならびに知覚障害があるが、肺のコンプライアンスは正常である。

われわれは、この患者に試作した人工呼吸器を2年間にわたり、現在、積算約100時間使用し、トラブルもなく、週1回のハーバード浴（図4）、院外への散歩、検査その他のための移動（図5）に際し、また、停電などの非常時や病室で當時使用している人工呼吸器の回路交換時などに使用し、大変有用であった。

考 察

試作した人工呼吸器は、無負荷の状態では設計どおりの換気回数と換気量が維持できたが、モデル肺を使用した実験においては、気道抵抗の上昇や肺のコンプライアンスの低下により、回路内圧が20 cmH₂O以上に上昇すると、モーターのトルクが仕様どおり得られなくなることが判明した。また、約6時間の連続使用時には、充電用トランジストとモーターの発熱があり、放熱機構を工夫し、プリント基板を保護する必要があることもわかった。

したがって、今後は、回路内圧が40 cmH₂O以上でも充分なトルクが得られるようにモーターの回転数をフィードバックして制御するサーボ機構を組み込み、換気量や換気回数が少ない時でも所定のトルクが得られるように工夫するとともに、前面の操作パネルに誤って触れた場合でも設定値が変わることのないように保護カバーを設けたり、万一、ヒューズが切れた際の補充の手間を省き、緊急時にもすばやく対処できるよう小型ブレーカーを使用するなどの改良を加えることが必要であると考えている。

最近、発売された LP 6²⁾、コンパニオン 2800³⁾などの小型人工呼吸器と比較し、本人工呼吸器は、特定の患者に換気量、換気回数、駆動圧などをあわせて設計し、あくまで携帯用あるいは非常用と

して、長期人工呼吸器としては別のものを使用するという概念に基づいているため、汎用性はないが、モーターを最小限のものにしたため消費電力が非常に少なく、バッテリーで長い駆動時間が得られること、価格が約1/3～1/4で製作できるなどの特徴を有す。

結 語

- 1) 電気駆動携帯用小型従量式人工呼吸器を試作した。
- 2) この人工呼吸器を高位頸髄損傷患者の移動用や停電などの非常時に使用し、大変有用であった。また、生命を人工呼吸器に委ねている患者にとって、予備の人工呼吸器が常にベッドサイドにスタンバイしているということで患者の安心感が

増大した。

- 3) さらに、駆動モーターのトルク、設定パネルの保護、ヒューズ切れ時の問題など改良を加えて高度な実用性を目指す予定である。

本研究は、昭和60年度新医療技術研究事業に係る厚生省科学研究費補助金によって行った。

文 献

- 1) 山内教宏、斎藤憲輝、佐藤暢：新しい携帯用小型従量式人工呼吸器の開発について、昭和60年度新医療研究事業に係る厚生省科学研究費補助金による研究報告書、厚生省健康政策局総務課編、東京、1986、pp 87～88
- 2) IMI社カタログ：多用途ベンチレーター LP 6
- 3) アムコ社カタログ：ポータブル・ベンチレーター コンパニオン 2800