

●短 報●

体外式膜型人工肺装着時における人工呼吸回路選択の検討

鈴木英正¹⁾・鈴木健一¹⁾・市場晋吾²⁾

キーワード：ECMO，人工呼吸回路，低換気，加温加湿

I. はじめに

体外式膜型人工肺（extra-corporeal membrane oxygenation：ECMO）を導入した患者は肺傷害回復のため Lung Rest 設定とするが、veno-venous ECMO（V-V ECMO）では一回換気量（ V_T ） $<30\text{mL}$ まで減少する症例を多く経験している。低換気状態では加温加湿式成人回路での温度・湿度コントロールは困難であり、人工呼吸器・加温加湿器のアラームが頻回に発生してしまう。この対策として、当院では人工呼吸器を小児モード設定にて、加温加湿式小児用回路に切換え呼吸管理を行っている。また、回復期には換気状態の改善により V_T の著明な増加がみられる。しかし、採用している人工呼吸回路は患者適応に対する指標がなく、換気に対する性能特性についての情報は非公開となっているため、症例に合わせた回路選択が困難であった。

II. 目的

ECMO 導入患者における低換気時や回復期の換気変化に対する加温加湿式回路のサイズ選択について検討したので報告する。

III. 方法

人工呼吸器：Evita Infinity V500（ドレーゲル社、ドイツ、小児モード、base flow 3L/分）、加温加湿器：



A：22mm 回路（スリーブ有） B：15mm 回路（スリーブ無）

図1 人工呼吸回路

フレックスタイプシングルヒーティング人工呼吸回路（INTERSURGICAL 社、イギリス）

MR850（Fisher & Paykel 社、ニュージーランド）、人工呼吸器回路：フレックス吸気熱線回路（INTERSURGICAL 社、イギリス、シングルヒーティング回路）の 22mm 回路（スリーブ付、成人用：図 1-A）、15mm 回路（スリーブ無低流量タイプ、小児用：図 1-B）、テスト肺：Self Test Lung（ドレーゲル社、ドイツ）を使用した。

方法 1：各回路の回路コンプライアンスと呼気抵抗、吸気抵抗の測定のため、人工呼吸器にて呼吸回路点検機能を用いて各回路を 10 回ずつ測定した。回路抵抗は流量 2.5L/分、15L/分、30L/分、60L/分を計測した。

方法 2：各回路の吸気回路内容量の測定のため、加温加湿された吸気が通過する人工呼吸回路構成部品である吸気熱線回路（図 2-①）、回路内熱線先端からエ

1) 日本医科大学付属病院 ME 部

2) 同 外科系集中治療科

[受付日：2018 年 12 月 17 日 採択日：2020 年 4 月 24 日]

アウエイ温測定部位の近位部である吸気回路先端（図2-②）、Yピースとカプノメータコネクタ、カテテルマウントに対し、回路内に貯留させた蒸留水量を各6回測定した。22mm回路はメスコネクタをオスコネクタ挿入分閉塞し、15mm回路は同様の回路条件となるよう測定した。

方法3：各回路の V_T に対する加温加湿制御能の測定のため、室温（ $23.7 \pm 0.2^\circ\text{C}$ ）で回路が直接空調に当たらない環境下にて、加温加湿設定は結露コントロールによる制御を抑制するためチャンバ温 38°C エアウェイ温 40°C 固定のマニュアルモードとし、各回路に対し換気設定VC（PEEP $5\text{cmH}_2\text{O}$ 、Flow $20\text{L}/\text{分}$ 、Ti 1.0 秒）にて V_T $300\text{mL} \sim 20\text{mL}$ を 20mL 間隔で減少させ、呼吸回数（RR） 10bpm 、 20bpm 、 30bpm で換気後20分、

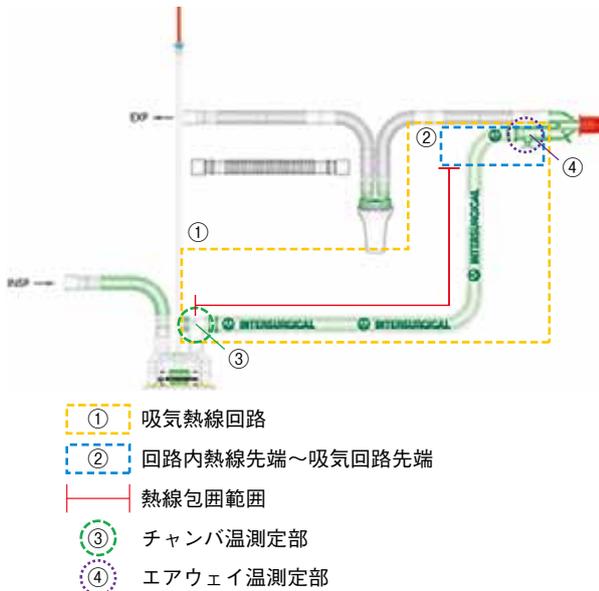
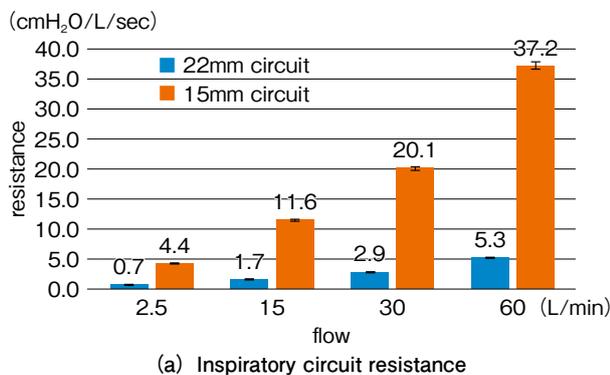


図2 人工呼吸回路の容量・温度測定部位



25分、30分後のチャンバ温・エアウェイ温の加温加湿器表示温度を2回測定した。その際、テスト肺を使用し、外装を冷温水層にて 37°C で保温状態とした。

IV. 結果

各測定結果について平均値±標準偏差にて表記する。

1. 回路コンプライアンス測定結果

15mm、22mm回路にて $1.28 \pm 0.04\text{mL}/\text{cmH}_2\text{O}$ 、 $2.13 \pm 0.05\text{mL}/\text{cmH}_2\text{O}$ となり、15mm回路に対し22mm回路は1.64倍となった。回路抵抗は、22mm回路に対し15mm回路は吸気時に6倍以上、呼気時に2.5倍以上の抵抗が生じた（図3）。

2. 吸気回路内容量

15mm、22mm回路にて、吸気熱線回路は $605 \pm 10.8\text{mL}$ 、 $224 \pm 5.5\text{mL}$ 、回路内熱線先端-吸気回路先端は $78.2 \pm 1.8\text{mL}$ 、 $9.2 \pm 0.4\text{mL}$ 、Yピースは $22.5 \pm 0.3\text{mL}$ 、 $10.1 \pm 0.2\text{mL}$ となり、カプノメータコネクタは $5.0 \pm 0.1\text{mL}$ 、カテテルマウントは $25.3 \pm 0.6\text{mL}$ であった。また、挿管チューブ内の体積は、30cmチューブとして円柱体積を算出すると7、8mmにて 11.5 、 15.1mL となる。

3. 人工呼吸回路の温度変化

22mm回路にてRR 30bpm 、 20bpm 、 10bpm で換気した際のチャンバ温とエアウェイ温を図4-Aに示す。チャンバ温は全換気設定において大きく変動せず設定温を維持したが、エアウェイ温は呼吸回数が少ないほど高い V_T から低下する結果となった。22mm回路で

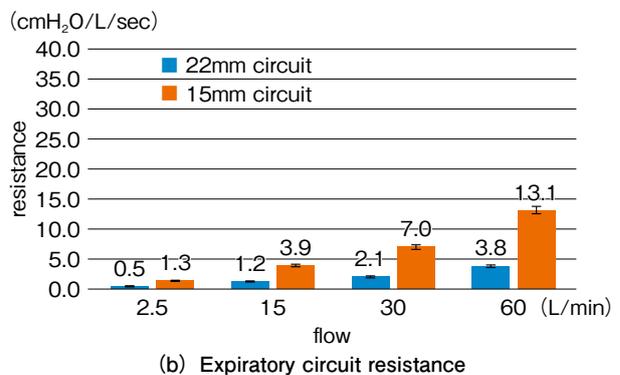
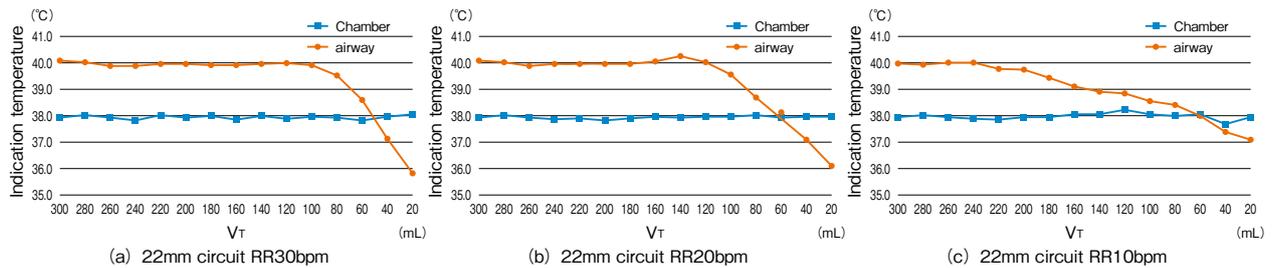


図3 人工呼吸回路の抵抗比較

測定値は、合計10回の測定による平均値+標準偏差として表示している。

A : 22mm 人工呼吸回路



B : 15mm 人工呼吸回路

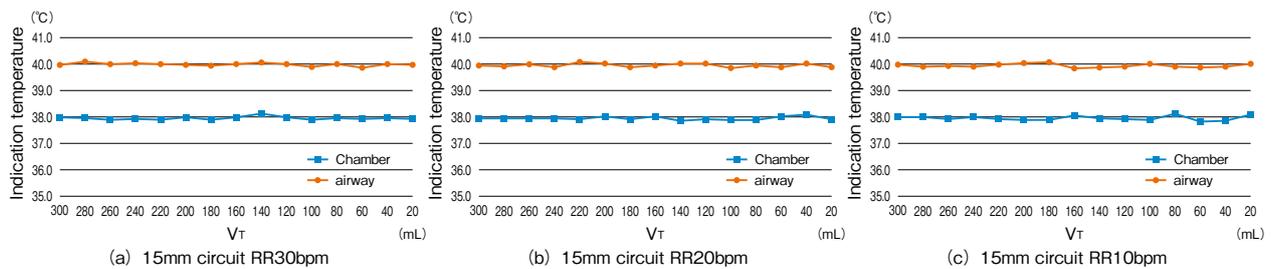


図4 一回換気量による人工呼吸回路の温度変化

温度測定は、回路内の安定した加温加湿状態から実施したため、高い換気量より低下させ測定している。測定値は、合計6回の測定による平均値として表示している。

のエアウェイ温の比較をすると、設定温が低下した V_T はRR 30bpm、20bpm、10bpmにて80mL、100mL、220mLであった。これを分時換気量に換算すると、2.0～2.4L/分で低下している。15mm回路での測定結果は、全換気設定において大きく変動せず維持した(図4-B)。

V. 考 察

コンプライアンスは、22mm回路よりも15mm回路は内腔面積が小さいため、一定圧によるcompression volumeが小さくなるため低減できていると考える。人工呼吸器には補正機能が装備されているものが多く、換気に対しての影響は軽減される。回路抵抗は、吸気・呼気ともに15mm回路において抵抗が大きく増大し、軽度ではあるが呼吸仕事量増加や換気応答性に影響が生じる^{1,2)}。そのため、回路性能が保てる場合は22mm回路の選択が望ましいと考える。

また、吸気回路容量測定結果から、低換気時には加温されなくなる熱線先端-エアウェイ温測定部位(本検証では近位部の吸気回路先端として計測)の回路容量が大きくなることで回路内に吸気が滞留しやすくなり、熱線先端-挿管チューブの容量より少ない V_T となることで吸気が肺へ到達しにくくなるため、環境温により回路内温度が冷却されやすくなり加温加湿へ影

響が生じると考える³⁾。

加温加湿制御については、エアウェイ温において22mm回路は分時換気量2.0～2.4L/分にて温度湿度コントロールが困難となり、3.0L/分以上では温度を保持していたため、本検証と同条件下では、分時換気量3.0L/分以下では15mm回路へ切り換えを検討することが適切であると考えられる。

これらの考察よりLung Rest設定時の対策として、低換気時には15mm回路への切換え、回復期の換気増加時には22mm回路への切換え、回路への直接的な空調の影響を低減させることが重要であると推測できる。

しかし、本検証の検討課題として、呼吸器によりbase flowなど駆動制御方式が異なるため他機種・回路にて対応時は検証が必要である。換気設定においても低換気時に吸気時間や休止時間、呼気時間、base flowを加味した平均流量といった吸気滞留状態の調整による影響も今後検証していきたい。また、安定した換気下で模擬したため、不安定な換気時や気管吸引後では温度制御が困難となる。さらには、成人の気管からの分泌物量は小児よりも多いため、成人患者への15mm回路使用時は回路への貯留に注意が必要となる。

VI. 結 語

実験では低換気時において15mm回路への切換えに

よりエアウェイ温度を維持することができたが、換気流量の増加に伴い回路抵抗の上昇が呼吸仕事量増加につながると考えられるため、呼吸状態に合わせた回路選択が重要となる。

本稿の全ての著者には規定された COI はない。

参考文献

- 1) 中大路多佳子, 落合亮一, 武田純三ほか: 加温器ならびに人工呼吸回路が PSV の換気量に及ぼす影響. 医器学. 1996 ; 66 : 633-5.
- 2) 山下大輔, 戸畑裕志, 佐野 茂ほか: 小児用人工呼吸回路の回路抵抗に関する検討. 人工呼吸. 2001 ; 18 : 207.
- 3) 山下大輔, 杉原 学, 山香 修ほか: 小児用人工呼吸回路の流量変化に対する温度変化の検討. 医器学. 2003 ; 73 : 601-2.