



遠心ポンプ駆動によるV-V ECMOシステムの開発と臨床応用

岡, 成光
久野, 克也
岡田昌義
坂田, 雅宏

(Citation)

神戸大学医学部紀要, 59(1/2/3/4):101-107

(Issue Date)

1999-03

(Resource Type)

departmental bulletin paper

(Version)

Version of Record

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/00177417>



遠心ポンプ駆動によるV-V ECMOシステムの開発と臨床応用

岡 成 光, 久 野 克 也, 岡 田 昌 義, 坂 田 雅 宏

神戸大学大学院研究科外科学第2講座

(担当: 岡田 昌義教授)

連絡先 岡 成 光

神戸大学第2外科

〒650-0017 神戸市中央区楠町7丁目5-2

内線: 5942

FAX: 078-382-5959

(平成11年1月14日受付)

要 旨

遠心ポンプを用いて、低充填量回路(総充填量95ml)を作成し、double lumen catheter (DLC) による veno-venous extracorporeal membrane oxygenation (V-V ECMO) システムを新たに開発し、新生児症例への応用を念頭に置き、その有用性について実験的に検討した。日本白色家兎5頭に対して、内頸静脈からDLCを留置し、V-V ECMOを行った。ポンプ流量が100ml/kg/minまでは血圧、心拍数などの血行動態への影響は少なく、模型肺前後での酸素含有量の差にポンプ流量を乗じた酸素消費量($\dot{V}O_2$)は有意に増加し、本システムによって有効な酸素化が得られる事実が呈示された。以上の所見より、臨床応用が可能と判断し、新生児先天性横隔膜ヘルニア2症例に対して、それぞれ72時間、106時間DLCを用いるV-V ECMOを行った。2例ともECMO離脱後に横隔膜修復術を行い、救命した。これらの結果より、遠心ポンプによるDLC下のV-V ECMOは新生児に対しても有用であるという事実が立証された。

I. 緒 言

Extracorporeal membrane oxygenation (ECMO)¹⁾ は人工呼吸療法に反応しない重症呼吸不全の治療法として今や普及し、定着してきている。その適応、手技、管理方法などは施設においてかなり異なるが、現在標準的に行われているのはローラーポンプを用いた veno-arterial ECMO (V-A ECMO) である²⁾。ところが近年、double lumen catheter (DLC) を用いた veno-venous ECMO (V-V ECMO) も行わ

れるようになってきており、V-A ECMOに匹敵する治療成績が得られるようになってきた³⁻⁹⁾。一方 percutaneous cardiopulmonary support (PCPS) などの駆動装置として、血球破壊が少ないとされる遠心ポンプの開発が進み^{10, 11)}、小型化されるようになってきた。そこでわれわれは新生児での臨床応用を念頭に置き、遠心ポンプを用いて低充填量回路を作成して、実験的にその有用性を確認し、その臨床応用を実施したのでその成果を報告する。

II. 方 法

新生児とほぼ同体重の日本白色家兎(3.0~3.5kg, 平均3.24±0.09kg) 5頭に塩酸ケタミン(30mg/kg)を投与し、気管内挿管にて全身麻酔を行い、ヘパリン(0.2ml/kg)を静脈内投与した後に右内頸静脈をカットダウンしてDLC(Jostru社製, 12Fr.)(Fig. 1)を先端が右房内に入るように留置した。回路は、遠心ポンプ(日機装, HPM-15, 充填量25ml), 模型人工肺(クラレ, MENOX2000, 膜面積0.4㎡, 充填量50ml), 電磁流量計体外型プローベ(日本光電, MFV1100, 内径4mm)から構成されており、これらの接続には塩化ビニルチューブを用いた。遠心ポンプを応用したためリザーバーを省略し、総充填量は95mlに減少することができた(Fig. 2)。この回路をDLCに接続し、右房内にある先端から脱血を行って、側孔から送血を行った。酸素化は、100% O₂ガスを模型人工肺に吹送して行った。ECMO中はactivated coagulation time (ACT)を200秒以上に維持した。また、右総頸動脈にカテーテルを留置し、動脈圧および心拍数の連続測定と動脈血の採取を行った。

キーワード: Extracorporeal membrane oxygenation (ECMO); 静脈-静脈バイパス (V-V bypass); 遠心ポンプ; 新生児; 先天性横隔膜ヘルニア



Figure 1

Double lumen catheter for single site access. The two lumens are separated by a septum. The tip of the catheter is for drainage port, and the side holes are for reinfusion port.

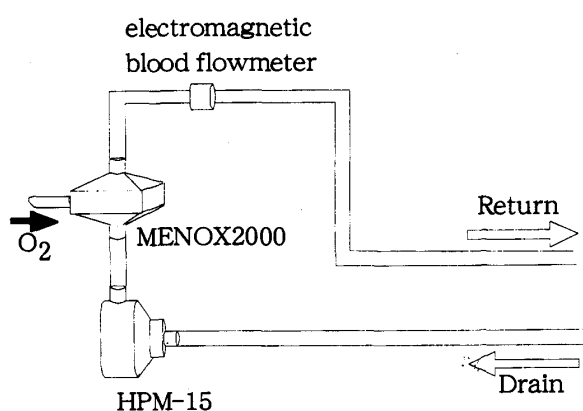


Figure 2

The schematic drawing shows a very simple circuit for V-V ECMO, consisted of a centrifugal pump (HPM-15), a membrane oxygenator (MENOX 2000) and an electromagnetic blood flowmeter. The priming volume of this circuit is only 95ml.

ECMO灌流量は、0, 100, 200, 300ml/min (約100ml/kg/min) と変化させ、頸動脈圧を測定し、動脈血、脱血側 (模型肺前)、送血側 (模型肺後) で血液ガス用の採血を行った。

本システムでの酸素化の指標には、動脈血および送血、脱血での酸素飽和度および酸素消費量 ($\dot{V}O_2$) を用いた。 $\dot{V}O_2$ は送血側と脱血側の O_2 含有量 (O_2 含有量 = ヘモグロビン × 酸素飽和度 × 1.39 + PaO_2 × 0.003) の差にECMO流量を乗じて算出した。

数値は、平均値 ± 標準誤差で示し、統計学的検討には、paired t-testを用いて、 $p < 0.05$ を有意差ありと評価した。

III. 結 果

ECMOは、安定して操作ができ、遠心ポンプによる最大流量は 628.5 ± 106.8 ml/minまで出すことが可

能であった。頸動脈の平均圧は、ECMO灌流量が0, 100, 200, 300ml/minの時にそれぞれ 79.2 ± 11.9 , 76.8 ± 13.3 , 73.2 ± 12.1 , 75.0 ± 12.7 mmHgと、流量による変化はみられなかった。また、心拍数もそれぞれ 217.0 ± 24.6 , 233.8 ± 25.4 , 235.8 ± 29.5 , 247.6 ± 24.5 /minと有意な変化はみられなかった。これに対して、 $\dot{V}O_2$ は流量100, 200, 300ml/minで 2.99 ± 1.09 , 5.10 ± 1.55 , 6.01 ± 1.74 ml/minと有意な増加を示した (Fig. 3)。

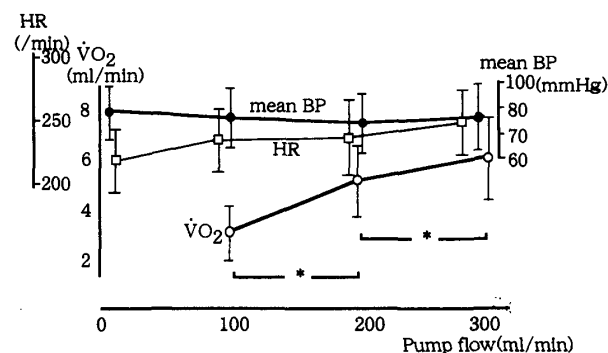


Figure 3

Changes in mean blood pressure (BP), heart rate (HR) and $\dot{V}O_2$ ($\dot{V}O_2$: oxygen consumption, calculated as (postmembrane oxygen content - premembrane oxygen content) × ECMO flow). * $p < 0.05$.

頸動脈、送血側、脱血側の酸素飽和度を検討すると、送血側では低流量でも十分に酸素化が行われており、流量が増加するに伴い、動脈血の酸素飽和度は増加し、さらに脱血側の酸素飽和度も増加した。また、流量300ml/minでは動脈血の酸素飽和度が $93.6 \pm 3.3\%$ であるのに対して脱血側の酸素飽和度は $93.1 \pm 3.4\%$ と、両者はほぼ同程度まで上昇していた (Fig. 4)。

IV. 臨床症例

動物実験で本システムが、1) 安定して運転できること、2) 血行動態に与える影響が少ないこと、3) 通常の流量で有効な酸素化が得られたこと、などが確認できたので、臨床例に本法を応用した。

臨床例での回路では、ECMO流量の測定にDoppler流量計を使用した。

なお、臨床応用に際しては、両症例とも患児家族からinformed consentsをえた。

1. 症例

日齢0, 女児。在胎40週2日, 2980gで正常分娩で

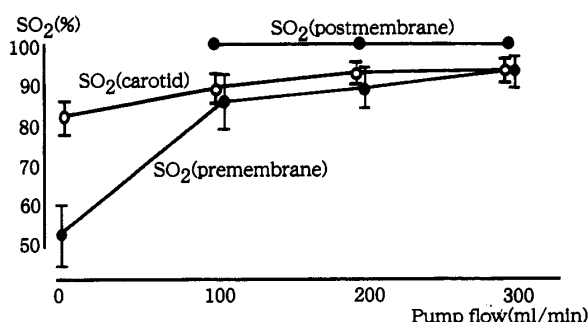


Figure 4

Changes in SO_2 (SO_2 : oxygen saturation) of premembrane, postmembrane and carotid artery.

出生した。生直後からチアノーゼ、徐脈を認め、前医で心肺蘇生が行われた。生後1時間で当院母子センターに搬送された。胸部X線写真上、左先天性横隔膜ヘルニアおよび右気胸と診断され、直ちにHFOに接続、右胸腔ドレナージを施行した。著明なアシドーシスと低酸素血症が確認され、生後5時間でNO吸入を開始し、20ppmまで増量したが、oxygenation index (OI) 44, $AaDO_2$ 629mmHgであったため、生後10時間目より、V-V ECMOを開始した。すなわち、右内頸静脈をカットダウンしてDLCを挿入し、心エコー下に、DLCの先端が右房内に、また、側孔が上大静脈内に位置するように留置し、固定した。ECMOは、70~100ml/kg/minで安定した血行動態が得られた。開始後20時間までは臍動脈の PaO_2 は低く、上下肢の SO_2 の差は顕著な差が見られたが、呼吸管

理をHFOからIMVに変更し、さらにNOを投与することで著明に改善し、胎児循環遺残症から脱出させることができた。開始後72時間目にECMOを中止することができた (Fig. 5)。その後、生後5日目に横隔膜ヘルニアに対して根治手術を行い、現在順調に経過している。

2. 症例 2

日齢0、男児。在胎35週6日、胎児仮死徴候のため帝王切開が行われた。出生児体重は2300g。胸部X線写真上左横隔膜ヘルニア、右気胸が認められ、右胸腔ドレナージの後、生後5時間で当院母子センターに搬送された。HFOに接続したがアシドーシスと低酸素血症が著明であり、生後7時間目よりNO吸入を開始したが、OI 38, $AaDO_2$ 607mmHgであったため、生後10時間目より、V-V ECMOを開始した。右内頸静脈をカットダウンしてDLCを挿入し、心エコー下に、DLCの先端が下大静脈内、側孔が右房内に位置するように留置、固定した。ECMOは、70~100ml/kg/minで安定した血行動態がえられた。本例では、ECMO開始後、早期から上下肢の SO_2 較差は改善し、動脈管シャントも左→右優位となった。しかし開始後30時間に脳室内に出血がみられ、増悪傾向はみられなかったが、やや水頭症の所見がみられた。また、76時間から著明な溶血が出現し、それ以上の改善傾向が認められないため、開始後106時間でECMOを中止した (Fig. 6)。しかし、新生児遷延性肺高血圧症 (PPHN) が再発し、HFOによる呼吸管理を要した。生後9日目に横隔膜ヘルニア修復術を施行し、救命した。

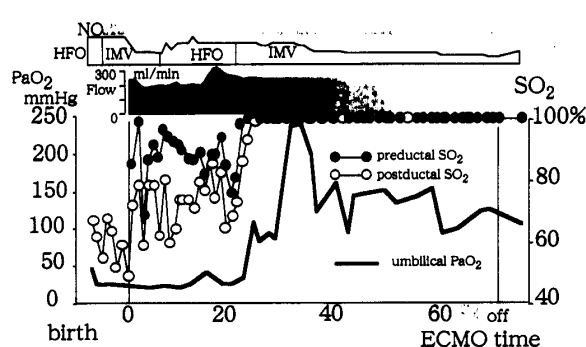


Figure 5

Clinical course (case 1). Changes of respiratory management (HFO: high frequent oxygenation, IMV: intermittent mandatory ventilation), NO gas, ECMO flow, PaO_2 , and preductal and postductal SO_2 (SO_2 : oxygen saturation).

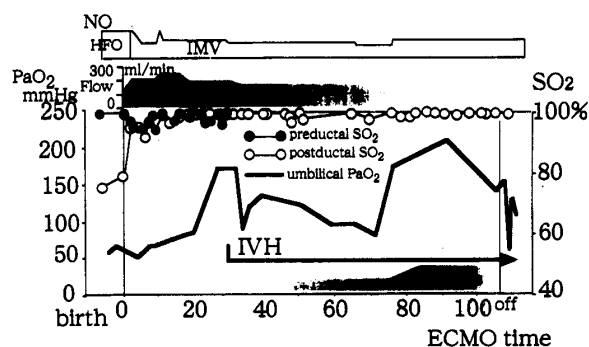


Figure 6

Clinical course (case 2). Changes of respiratory management (HFO: high frequent oxygenation, IMV: intermittent mandatory ventilation), NO gas, ECMO flow, PaO_2 , preductal and postductal SO_2 (SO_2 : oxygen saturation), and IVH (IVH: intraventricular hemorrhage).

V. 考 察

1976年Bartlettら¹²⁾が新生児でECMOを応用して初めての生存例を報告したが、その後1977年にはGermanら¹³⁾がECMOによる先天性横隔膜ヘルニアの最初の救命例を報告している。その後、新生児・乳児の重症呼吸不全に対して積極的にECMOが応用されるようになり、治療成績も次第に向上している。現在、新生児・乳児に対するECMOシステムは内頸静脈から脱血し、総頸動脈から送血するveno-arterial ECMO (V-A ECMO) が最も一般的に応用されており、また、駆動にはローラーポンプが用いられることが多い^{8, 14, 15)}。そのため、脳血流障害が常に懸念されること、ローラーポンプによる血球破壊、脱血不良に対するリザーバーの必要性から充填量が多くなることが大きな問題点といえる。近年、右内頸静脈からdouble lumen catheter (DLC) を用いるveno-venous ECMO (V-V ECMO) を行う施設が増加している¹⁷⁾。このDLCを使用すれば、カニューレションの際に内頸静脈の1カ所に切開をおくだけで十分であるため、手技的にも簡便であり、侵襲も少なく、なにより総頸動脈の血行を温存するという大きな利点がある。諸家の報告にもあるように、適正な流量下でのV-V ECMOの治療成績は、V-A ECMOに匹敵するまでに向上してきた^{5-9, 13)}。他方、駆動装置として、ローラーポンプと比較して溶血が少ないとされる遠心ポンプの開発も進み、それにより小型化されている^{10, 11)}。そこでわれわれは、新生児での使用を念頭に置き、小型遠心ポンプを用いることでリザーバーを省略した低充填回路(総充填量95ml)を作成し、DLCを用いるV-V ECMOシステムを開発した¹⁶⁾。文献的に検索し得る限り、遠心ポンプ駆動によるV-V ECMOの報告例は全くみられていない。

日本白色家兎を用いた実験的研究では、ECMOで安定した血行動態がえられ、ECMO中の心拍数、平均血圧は流量によって変化されなかった (Fig. 3)。一般に、V-A ECMOでは流量が直接的に動脈圧に影響を及ぼすのに対して、V-V ECMOでは左心系に直接的な負荷がかからない。このため、V-V ECMO中は流量に関わらず拍動性の動脈性の血行が得られ^{18, 19)}、体組織へのより生理的な血行動態を維持することができる。また、V-V ECMOの応用によって低下した心機能が改善するという報告もみられる²⁰⁾。さらに、本システムでは、1) 遠心ポンプにより、陰圧負荷が軽減されていること、2) リザーバーを有しない閉鎖回路であるため、右房内で脱血と同時に全く同量の送血が行われることになる。以上の所見から、

右房圧・容量、ひいては心拍数・心拍出量に及ぼす影響が非常に少ないものと考えられた。

本システムでの酸素化の指標には、動脈血および送血、脱血での酸素飽和度および酸素消費量 ($\dot{V}O_2$) を用いた。 $\dot{V}O_2$ は送血側と脱血側の O_2 含有量の差にECMO流量を乗じて算出したものであり、組織に供給された酸素量であると換言することができる。 $\dot{V}O_2$ は、流量300ml/min (約100ml/kg/min) まで有意に増加し、本システムにより有効な酸素化が得られる事実が判明した。流量の増加に伴い、動脈血の酸素飽和度は増加したが、脱血側の酸素飽和度も動脈血と同程度まで増加しており (Fig. 4)、DLCによる再循環が示唆された。しかし、ウサギの解剖学的特殊性として、左上大静脈が存在し、右上大静脈とは独立して冠静脈洞から右房内に直接灌流する点が挙げられる。このことから、DLC留置に伴う右上大静脈灌流障害から左上大静脈灌流が増加したために右房内酸素飽和度が低下したとも考えられるが、DLCの再循環の有無やその程度を正確に評価することは困難である。しかし、DLCの選択や、DLCの留置位置などに再検討が必要と考えられる。

本実験的研究から、このシステムは血行動態に与える影響が少なく、有効な酸素化が得られるものと評価し、新生児先天性横隔膜ヘルニア2症例に対して本システムを臨床応用した。いずれも満期分娩児であり、生後に先天性横隔膜ヘルニアと診断されたが、いずれも対側に気胸を併発していた。症例1は、NO吸入下でOI 44, AaDO₂ 629mmHg、症例2は、NO吸入下でOI 38, AaDO₂ 607mmHgであった。両児とも生後10時間目にECMOを開始した。症例1では、ECMO導入当初は動脈血の酸素飽和度の上下肢較差が縮まらず、呼吸器をIMVに移行させて、患児肺にも酸素化を分担させることで全身の酸素供給を改善することができ、さらにNO吸入による肺血管抵抗低下が胎児循環遺残症からの脱出を図ったものと考えられる。すなわち、V-V ECMOでは人工換気を含めた種々の治療手段を駆使することが有用である。症例2では動脈血の酸素飽和度の上下肢での較差は早期から改善したが、ECMO離脱後PPHNの増悪がみられた。しかし、ECMO離脱後にはHFOが比較的奏功し、順調な回復がえられた。数日間のECMOの管理後には、NOやHFOが有効となる症例が多いが、新生児初期のPPHNでの悪循環をECMOによって改善することが奏功しているものと考えられる。

DLCを用いる際、適正な流量、酸素供給、再循環を減少させるためには、DLCの留置位置が非常に重要であると考えている。新生児先天性横隔膜ヘルニア

では、患側肺の拡張不全から心臓の著明な左方偏位がみられるが、胎児循環遺残症による卵円孔開存のため、右内頸静脈から挿入したDLCが上大静脈から卵円孔を通して左房内に入りやすい。健側肺で酸素化されて左房に循環してきた血液を脱血するという非効率的な状態が惹起される。そのため、われわれはDLCを的確な位置に留置するよう心エコー下に確認している。症例1では、先端を右房内に置いて脱血し、上大静脈内の側孔から送血を行った。しかし、送血された血液は右房内で再び脱血されることになり、再循環が生じやすいのではないかと考えた。そこで、症例2では、下大静脈環流部にDLCの先端を置いて脱血し、右房内の側孔から送血を行った。データの裏付けはないが、理論的には後者の方が効率的であったと考えられる。今後、この点も十分検討したいと考えている。

症例2では、溶血および頭蓋内出血が問題となった。その原因は明らかではないが、少なくとも溶血に対してはローラーポンプよりも遠心ポンプの方が有利であるとされている^{10, 11)}。また、模型肺も溶血の原因となることもあり、今後溶血の少ない低容量模型肺の開発がおおいに期待される。脳血流に関しては総頸動脈を犠牲にするV-A ECMOよりも、V-V ECMOの方が有利であると考えられる¹⁸⁾。しかし、内頸静脈カットダウンによる脳血流のうっ滞による悪影響の可能性²¹⁾も否定できず、本システムにcephalic venous drainageの追加も考慮されるべきである^{5, 7, 22)}。

本システムは、新生児への臨床応用で満足すべき結果をえることができた。

VI. 結 論

遠心ポンプを用いた低充填量ECMO回路（総充填量95ml）を作成し、DLCを用いるV-V ECMOを行った。1) まず、動物実験で良好な血行動態と、有効な酸素化が得られた。2) 基礎的研究で良好な結果をえたので、本システムを臨床新生児症例に応用し、満足すべき成績をえた。

なお、本論文の要旨は第36回日本人工臓器学会大会で発表した。

文 献

- 1) National ECMO Registry of Extracorporeal Life Support Organization (ELSO). Ann Arbor, University of Michigan, 1995.
- 2) 久野克也, 岡田昌義: 新生児のECMO治療。日外会誌, 98: 990-995, 1997.
- 3) 家永徹也, 久野克也, 沢村敏郎, 中村和夫: 新生児用 ECMO (Extracorporeal Membrane Oxygenation) 装置の開発及び灌流法に関する実験的研究。日小外会誌, 25, 659-669, 1989.
- 4) 久野克也, 家永徹也, 沢村敏郎, 司尾和紀, 岡田昌義, 中村和夫, 松田昌三, 白江博, 西村孝雄, 岩井秀治: 小児用ECMO装置によるV-Vバイパス呼吸補助の実験的研究。人工臓器, 16: 602-605, 1987.
- 5) Finer, N. N., Tierney, A. J., Ainsworth, W.: Venovenous extracorporeal membrane oxygenation: The effects of proximal internal jugular cannulation. J Pediatr Surg 31: 1391-1395, 1996.
- 6) Anderson, H. L. III, Snedecor, S. M., Tetsuro, Otsu., Bartlett, R. H.: Multicenter comparison of conventional venoarterial access versus venovenous double-lumen catheter access in newborn infants undergoing extracorporeal membrane oxygenation. J Pediatr Surg 28: 530-535, 1993.
- 7) Heiss, K. F., Clark, R. H., Cornish, J. D., Stovroff, M., Ricketts, R. Kesser, K., Stonecashi, M.: Preferential use of venovenous extracorporeal membrane oxygenation for congenital diaphragmatic hernia. J Pediatr Surg 30: 416-419, 1995.
- 8) Knight, G. R., Dudell, G. G., Evans, M. L., Grimm, P. S.: A comparison of venovenous and venoarterial extracorporeal membrane oxygenation in the treatment of neonatal respiratory failure. Crit Care Med 24: 1678-1683, 1996.
- 9) Trittenwein, G., Fürst, G., Golej, J., Frenzel, C., Burda, G., Hermon, M., Marx, M., Wollenek, G., Pollak, A.: Single needle venovenous extracorporeal membrane oxygenation using a nonocclusive roller pump for rescue in infants and children. Artif Organs 21: 793-797, 1997.
- 10) Kawahito, K., Nosé, Y.: Hemolysis in different centrifugal pumps. Artif Organs 21: 323-326, 1997.
- 11) Naito, K., Suenaga, E., Cao, Z. L., Suda, H., Ueno, T., Natsuaki, M., Itoh, T.: Comparative study of clinically available

- centrifugal pumps. *Artif Organs* 20: 560-563, 1996.
- 12) Bartlett, R. H., Gazzaniga, A. B., Huxtable, R. F., Worcester, C., Rucker, R.: Extracorporeal circulation (ECMO) in neonatal respiratory failure. *J Thorac Cardiovasc Surg* 74:826-833, 1977.
 - 13) German, J. C., Gazzaniga, A. B., Amlie, R., Huxtable, R. F., Bartlett, R. H.: Management of pulmonary insufficiency in diaphragmatic hernia using extracorporeal circulation with a membrane oxygenator (ECMO). *J Pediatr Surg* 12: 905-912, 1977.
 - 14) Raïs-Bahrami, K., Rivera, O., Mikesell, G. T., Seale, W. R., Sell, J. E., Short, B. L.: Improved oxygenation with reduced recirculation during venovenous extra corporeal membrane oxygenation: Evaluation of a test catheter. *Crit Care Med* 23: 1722-1725, 1995.
 - 15) Lally, K. P.: Extracorporeal membrane oxygenation in patients with congenital diaphragmatic hernia. *seminars in Pediatr Surg* 5: 249-255, 1996.
 - 16) Sakata, M., Hisano, K., Okada, M., Yasuhuku, M.: A new artificial placenta with a centrifugal pump: Long term total extrauterine support of goat fetuses. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 115: 1023-1031, 1998.
 - 17) Anderson, H. L. III, Otsu, T., Chapman, R. A., Bartlett, R. H.: Venovenous extracorporeal life support in neonates using a double lumen catheter. *Am Soc Artif Intern Organs Trans* 35: 650-653, 1989.
 - 18) Walder, L. K., Short, B. L., Traystman, R. J.: Impairment of cerebral autoregulation during venovenous extracorporeal membrane oxygenation in the newborn lamb. *Crit Care Med* 24: 2001-2006, 1996.
 - 19) Roy, B. J., Cornish, J. D., Clark, R. H.: Venovenous extracorporeal membrane oxygenation affects renal function. *Pediatrics* 95: 573-578, 1995.
 - 20) Strieper, M. J., Sharma, S., Dooley, K. J., Cornish, J. D., Clark, R. H.: Effects of venovenous extracorporeal membrane oxygenation on cardiac performance as determined by echocardiographic measurements. *J Pediatr* 122: 950-955, 1993.
 - 21) Taylor, G., Walker, L. K.: Intracranial venous system in newborns treated with extracorporeal membrane oxygenation: Doppler US evaluation after ligation of the right jugular vein. *Radiology* 183: 453-456, 1992.
 - 22) Kitagawa, H., McComb, G., Ford, E., Atkinson, J. B.: Proximal and distal cannulation of the internal jugular vein for ECMO in a primate. *J Pediatr Surg* 27: 1189-1191, 1992.
 - 23) 沢村敏郎, 久野克也, 家永徹也, 中村和夫: 新生児 ECMO (Extracorporeal Membrane Oxygenation) における静脈-動脈灌流に関する実験的並びに臨床的研究。日外会誌, 91: 1636-1643, 1990.
 - 24) 久野克也, 顔邦男, 家永徹也, 沢村敏郎, 松田昌三, 岡田昌義, 中村和夫: ECMO装置の開発と灌流法の検討。日外科系連会誌, 20: 12-15, 1989.

Development and Clinical Application of New Venovenous Extracorporeal Membrane Oxygenation System Using a Centrifugal Pump

Shigeteru Oka, katsuya Hisano, Masayoshi Okada, Mashiro Sakata

Department of Surgery, Division II, Kobe University School of Medicine

7-5-2 Kusunoki-cho, Chuo-ku, Kobe, Hyogo, 650-0017, JAPAN

Abstract

A small capacity circuit (priming volume: 95ml) including a centrifugal pump was designed as the veno-venous extracorporeal membrane oxygenation (V-V ECMO) system with a double lumen catheter (DLC) to rescue neonates and infants with respiratory failure. In an animal experiment, five Japanese white rabbits were subjected to this DLC V-V ECMO system. During the ECMO, oxygenation was enough effective to maintain a good circulatory state in rabbits, suggesting that our V-V ECMO system using the centrifugal pump might be clinically available. Subsequently, two neonates with congenital diaphragmatic hernia were treated by our DLC V-V ECMO system. The durations of DLC V-V ECMO were 72 and 106 hours, respectively. Both neonates were weaned off from ECMO, and then successfully underwent the surgery for diaphragm repair and survived.

In conclusion, we developed a new, small DLC V-V ECMO system using a centrifugal pump for neonates and infants and succeeded in its clinical application.

Keywords: extracorporeal membrane oxygenation (ECMO); veno-venous ECMO (V-V ECMO); centrifugal pump; neonate; congenital diaphragmatic hernia