

症例報告

先天性心疾患乳児に対する Avalon Elite Bi-Caval Dual Lumen Catheter を用いた V-V ECMO の使用経験

前田 昂大¹⁾, 提島 丈雄¹⁾, 酒井 渉²⁾, 小笠原 裕樹³⁾,
大野 真由美⁴⁾, 名和 智裕¹⁾, 澤田 まどか¹⁾, 高室 基樹¹⁾

¹⁾ 北海道立子ども総合医療・療育センター 小児循環器内科

²⁾ 北海道立子ども総合医療・療育センター 集中治療科

³⁾ 北海道立子ども総合医療・療育センター 臨床工学部

⁴⁾ 北海道立子ども総合医療・療育センター 新生児科

Avalon Elite Bi-Caval Dual Lumen Catheter to Facilitate Veno-Venous Extracorporeal Membrane Oxygenation in a Cardiac Infant with Limited Vascular Access: A Case Report

Takahiro Maeda¹⁾, Takeo Sageshima¹⁾, Wataru Sakai²⁾, Yuki Ogasawara³⁾,
Mayumi Ohno⁴⁾, Tomohiro Nawa¹⁾, Madoka Sawada¹⁾, and Motoki Takamuro¹⁾

¹⁾ Department of Pediatric Cardiology, Hokkaido Medical Center for Child Health and Rehabilitation, Hokkaido, Japan

²⁾ Department of Pediatric Intensive Care Unit, Hokkaido Medical Center for Child Health and Rehabilitation, Hokkaido, Japan

³⁾ Department of Clinical Engineering, Hokkaido Medical Center for Child Health and Rehabilitation, Hokkaido, Japan

⁴⁾ Department of Neonatology, Hokkaido Medical Center for Child Health and Rehabilitation, Hokkaido, Japan

The Avalon Elite® bi-caval dual lumen catheter (Avalon DLC) enables veno-venous extracorporeal membrane oxygenation (V-V ECMO) with a single cannula. There are no reports of using this catheter in infants with congenital heart disease in Japan. We report a 3-month-old boy who weighed 3.5 kg and was diagnosed with Cantrell syndrome, tetralogy of Fallot, and persistent left superior vena cava. He underwent multistage abdominal wall closure, diaphragmatic suture, and tracheostomy for omphalocele, diaphragmatic hernia, and tracheomalacia. At 3 months of age, hypoxemia appeared and cardiac magnetic resonance imaging showed low pulmonary blood flow with a Qp/Qs ratio of 0.4, indicating the need for Blalock–Taussig shunt surgery. There was concern regarding postoperative mediastinitis because of the proximity of the abdominal wound and tracheostomy site to the sternum. Therefore, a left-sided thoracotomy was planned instead of a median sternotomy. However, compression of the lung on the operative side was expected to further worsen oxygenation, and we planned to introduce V-V ECMO before surgery. The right internal jugular vein was the only site where a cannula could be inserted percutaneously owing to the anatomical characteristics of the vessels. A 13 Fr Avalon DLC was inserted through the right internal jugular vein, and V-V ECMO was used to achieve good oxygenation. The Avalon DLC may be useful in infants with congenital heart disease and multiple malformations who require ECMO.

Keywords: extracorporeal membrane oxygen, dual lumen catheter, Veno-venous dual lumen cannula, Cantrell syndrome

Avalon Elite® Bi-Caval Dual Lumen Catheter (Avalon DLC) は 1 本のカニューレで V-V 体外式膜型人工肺 (Veno-venous extracorporeal membrane oxygenation: V-V ECMO) の送血と脱血が可能なデバイス

2024 年 8 月 5 日受付, 2024 年 11 月 18 日受理

著者連絡先: 前田 昂大 (E-mail: t-maeda@sapmed.ac.jp)

〒006-0041 北海道札幌市手稲区金山 1 条 1 丁目 240 番 北海道立子ども総合医療・療育センター 小児循環器内科

doi: 10.9794/jspccs.41.51

スであるが、先天性心疾患児に対する使用報告はない。症例は Cantrell 症候群、ファロー四徴症、左上大静脈遺残と診断された生後 3 か月、体重 3.5 kg の男児。臍帯ヘルニア、横隔膜ヘルニアと気管軟化症に対して多期的腹壁閉鎖術、横隔膜縫縮術と気管切開術を施行した。生後 3 か月時から低酸素血症が顕在化し、心臓 MRI 検査で肺体血流比=0.4 と低肺血流状態であり、Blalock-Taussig shunt 手術が必要と判断した。腹壁の術創と気管切開孔が胸骨と近接し術後縦隔炎が懸念されたため、正中切開を選択せず左側開胸での手術を計画した。しかし、術側肺の圧排が更に酸素化を悪化させるため、手術執刀前に V-V ECMO の導入を計画した。静脈の解剖学的特徴から、カニユーレを経皮的に挿入できる部位は右内頸静脈のみであった。右内頸静脈から Avalon DLC 13Fr を挿入して V-V ECMO を使用し、良好な酸素化を得た。手術終了時に V-V ECMO を合併症なく離脱することが可能であった。先天性心疾患と多発奇形がある場合、バスキュラーアクセスに制限があることがあり、導入時の選択として Avalon DLC は一候補になりうる。

背 景

1975 年に新生児呼吸不全に対する体外式膜型人工肺 (extracorporeal membrane oxygenation: ECMO) の生存例が初めて報告された¹⁾。歴史的には、V-A 体外式膜型人工肺 (Veno-arterial extracorporeal membrane oxygenation: V-A ECMO) の使用が新生児呼吸不全に対しての補助循環として一般的であった。その後 V-A ECMO が V-V 体外式膜型人工肺 (Veno-venous extracorporeal membrane oxygenation: V-V ECMO) に比して神経合併症などの発生率が高いと報告され、V-V ECMO が新生児呼吸不全に使用されるようになった^{2,3)}。しかし、小児の V-V ECMO では 2 本のカニユーレ留置にかかる時間や、鼠径部の創傷と下腿腫脹、大腿静脈への適切なサイズのカテーテルが限られるなどの課題があった⁴⁾。また、先天性心疾患児は中心静脈カテーテル留置や心臓カテーテル検査の反復で内頸または大腿静脈が穿刺され⁵⁾、ECMO のカニユーレ挿入部位が限られることがある。経皮的血管確保が難しい場合、右心房へのカニユーレーションによる導入があるが、経胸壁的アプローチが必要となる⁶⁾。

本邦では、ヨストラ体外循環肺補助用カニユーレ N[®] ダブルルーメン (Jostra VVDL; Maquet Getinge group, Rastatt, Germany) が V-V ECMO を要する小児患者に対して唯一使用可能であったが、2015 年に供給停止となった⁷⁾。Avalon Elite[®] Bi-Caval Dual Lumen Catheter (Avalon DLC; Getinge Group Japan K.K., Tokyo, Japan) は 2009 年に米国で発売され、国内では 2018 年 2 月に認可された。カニユーレ内にワイヤー補強を組み込み、曲がりや捻れによる閉塞を防止する設計となっている。また、下大静脈と上大静脈に脱血孔を、三尖弁側に送血孔を位置させることで recirculation を減少させる役割を果たしている。

サイズは 13Fr から 31Fr まであり、新生児から成人まで幅広く使用可能である。今後、小児の重症呼吸不全などへの使用が期待されている³⁾が、先天性心疾患乳児に使用した報告はない。今回、V-V ECMO バスキュラーアクセス制限のある先天性心疾患の乳児に Avalon DLC を用いて ECMO を導入することができた一例を報告する。

症 例

症例は生後 3 か月、身長 55 cm、体重 3.5 kg の男児。胎児期に臍帯ヘルニアを指摘されていた。在胎 36 週 6 日、1,462 g で出生し、小腸、全肝と一部の胃が脱出していた。また、出生後に胸骨下部の欠損に加え心臓エコー検査でファロー四徴症、左上大静脈遺残を認めた。生後直ちに多期的腹壁閉鎖術を施行し、術中に左横隔膜欠損を認め横隔膜縫縮術が同時に行われた。臍帯ヘルニア、胸骨下部欠損、心内奇形、横隔膜欠損の所見から 4/5 兆候を満たす Cantrell 症候群と診断した。日齢 10 日に腹壁閉鎖術を行った。出生時より High Frequency Oscillatory (HFO) を用いた人工呼吸管理を行っていたが、気管軟化のため呼吸器設定を緩和することができなかった。徐々に低酸素血症の進行があり生後 1 か月、体重 2.1 kg 時に精査加療目的に当院へ転院となった。当院へ転院時は HFO, FiO₂ 0.8, Mean airway pressure 14 cmH₂O, Amplitude 60 cmH₂O, Frequency 12 Hz で SpO₂ 83%, pCO₂ 65 mmHg (毛細管血) であった。酸素化不良低下の要因は気管軟化、臍帯及び横隔膜ヘルニアによる肺低形成、チアノーゼ性心疾患と複数の要因が考えられた。長期の人工呼吸管理が必要と見込まれたため生後 2 か月時に気管切開術を施行し、HFO から Intermittent mandatory ventilation へ変更が可能となった。生後 3 か月になると肺の条件や人工呼吸器設定に関

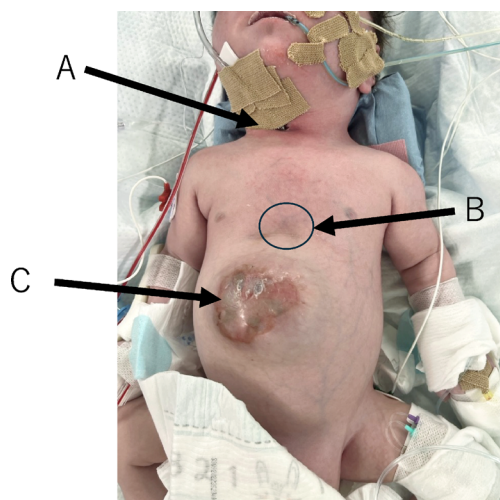


Fig. 1 Frontal view of the patient

(A) Tracheostomy site. (B) Defects lower sternum. (C) Surgical wound area by omphalocele repair that has not healed.

わらず低酸素血症や呼吸性アシドーシスが徐々に進行した。体血圧 72/58mmHg かつ HFO による Mean airway pressure 14mmHg 施行下での心エコー検査では三尖弁逆流は認めず、肺動脈弁～弁上狭窄による肺動脈加速血流は 3.1m/s であった。体重増加に伴う相対的な肺血流低下を疑い心臓 MRI 検査を実施したところ、 $Qp/Qs=0.4$ と低肺血流状態であり、Blalock-Taussig shunt 手術 (BTS) が必要と判断した。気管切開孔や胸骨下縁に接触する腹部術創があるため、正中切開は縦隔炎と創傷治癒不全のリスクがあり左側開胸での BTS を計画した (Fig. 1)。手術室内で体位調整を行ったところ、 FiO_2 1.0 でも $PaCO_2$ 84.9mmHg, PaO_2 52.8mmHg となり、術中は左肺を圧排しながらの介入となるため更なる低酸素血症と高炭酸ガス血症が見込まれ、ECMO の導入が必要と判断した。上述する理由で Central ECMO 導入は難しく、経皮的 ECMO 導入が必要であった。臍帯ヘルニアなどの影響で下大静脈は腹腔内で一度脊椎左側を走行後に再度脊椎を横切って右心房へ還流、また、鼠径部の血管は細く蛇行し狭窄所見もあり (Fig. 2)、ECMO カニューレを挿入可能な静脈は右内頸静脈のみであった。V-V ECMO の代用として経皮的 V-A ECMO を検討したが、本症例は 2 点問題を抱えていた。1 点目はほとんどの酸素化不良に加え、分離肺換気により更に脳酸素化を悪化させるため V-A ECMO の送血管は鼠径動脈でなく総頸動脈に挿入する必要があるが、総頸動脈がフレックスメイト PCKN-A-8YPS 8Fr (泉工医科工業, 東京, 日本) 送血カニューレを入れるのに十分な

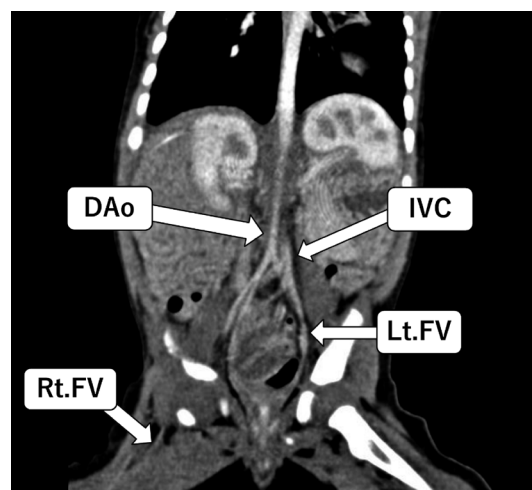


Fig. 2 Coronal view of enhanced computed tomogram

The inferior vena cava (IVC) is located on the left side of the descending aorta (DAo) (arrow). The right femoral vein (Rt.FV) is thin and tortuous, crossing over the spine and returning to the IVC (arrow). The left femoral vein (Lt.FV) was suspected to be partially stenotic (arrow).

血管径を有していなかったこと、2 点目は頸部に気管切開孔が存在し、右頸部には脱血管が入る可能性があり、かつ右側臥位での手術を予定していたため、頸部の手技可能範囲に限られた状況であったことである。V-A ECMO は、また動脈血栓の合併症などもあり、循環補助が不要である本症例では V-V ECMO が望ましいと判断した。エコー検査で内腔 4.0mm あった右内頸静脈から Avalon DLC 13Fr を挿入し V-V ECMO を導入する方針とした。

X 線透視装置を用いながら Avalon insertion kit (Maquet Getinge group, Rastatt, Germany) の J チップ、0.038 インチ × 20cm の X 線不透過性ガイドワイヤーを下大静脈へ誘導を試みたが、下大静脈が突出した肝臓により左側に圧排されて偏位しており困難であった。そこで、0.035 インチラジフォカスガイドワイヤー 260cm, アングル (035RFGW; テルモ, 東京, 日本) を用いて下大静脈にワイヤーを留置し, Avalon DLC のイントロデューサーシースを IVC まで挿入した (Fig. 3A, B)。次に、イントロデューサーシースをガイドリングとして 035RFGW から J チップ、0.038 インチ × 20cm の X 線不透過性ガイドワイヤーに入れ替えて下大静脈に留置し、イントロデューサーシースを抜去、Avalon DLC を挿入した (Fig. 3C)。経胸壁心エコー (TTE) と X 線透視装置を用いて上大静脈と下大静脈に脱血孔が位置し、送血孔が三尖弁

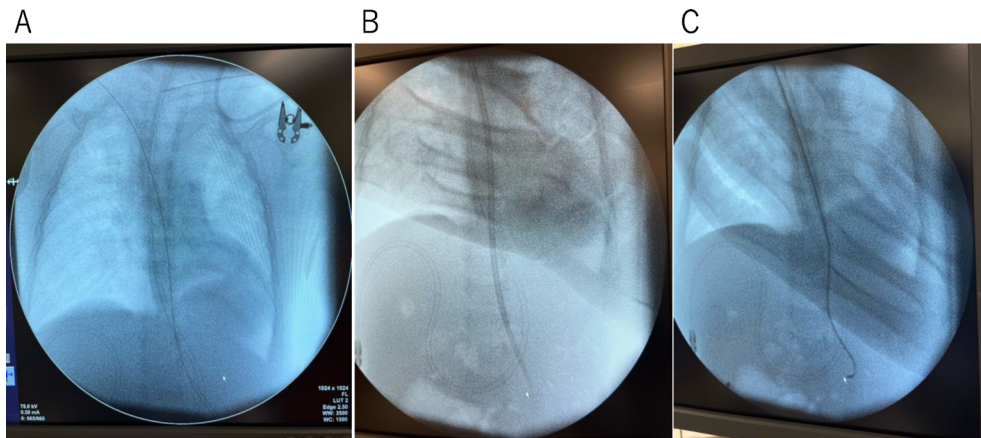


Fig. 3 Fluoroscopic image showing insertion of the Avalon DLC

A 260-cm 0.035 radifocus guide wire (035 RFGW) was placed in the IVC (A) and only the introducer of the Avalon DLC was inserted up to the IVC (B). The 035 RFGW was then replaced with a flexible "J tip", 20-cm, 0.038 radiopaque guide-wire. The introducer was removed, predilation was performed using 12Fr and 14Fr catheters, and the catheter was inserted so that its tip was implanted in the IVC (C). Transthoracic echocardiography and fluoroscopy confirmed that the drainage ports were in the SVC and IVC, and that the infusion port was pointing toward the tricuspid valve.

方向に向いていることを確認して、ヘパリン 100U/kg を静脈投与した後に V-V ECMO を開始した。ECMO 導入後 PaO_2 は 52.8mmHg から 550mmHg まで改善した。術中は流量 60~100mL/kg/min, 脱血圧 -7~17mmHg, 送血圧 110~160mmHg で経過し、手術終了時に ECMO を離脱した。術後に撮像した CT 検査で内頸静脈の血栓は認めなかった。

考 察

BTS を要する先天性心疾患児に対し、縦隔炎のリスクを考慮して、側開胸での介入を検討したが、酸素化が悪く補助循環装置が必要であった。しかし、Cantrell 症候群や生後からの度重なる中心静脈カテーテル留置による血管走行異常や狭窄があり、補助循環装置の導入に工夫が必要であった。今回我々は新規に認可された 13Fr の Avalon DLC を用いて V-V ECMO を導入し、ECMO に関連した合併症なく手術を施行することができた。

本症例では循環補助を必要としないガス拡散と交換能の補助が要求されたため、V-V ECMO の適応と考えられた。これまで経皮的アプローチによる V-V ECMO において、新生児や乳幼児では大腿静脈の血管径が小さく、制約を受けることが多かった^{8,9)}。特に、先天性心疾患児は中心静脈カテーテル留置や心臓カテーテル検査の反復などで大腿静脈が穿刺されて狭窄するなど⁴⁾、血管確保部位に限られることがある。経皮的 V-V ECMO 導入が難しい場合、右心房へのカ

ニューレーションによる Central V-V ECMO や、V-A ECMO の使用が挙げられる。右心房を用いる場合、侵襲度の観点からは経皮的アプローチに劣り⁴⁾、気管切開後などでは胸骨切開による縦隔炎のリスクが高い¹⁰⁾。V-A ECMO で代用する場合、動脈系への空気塞栓や血栓形成のリスク、また総頸動脈を用いた場合は血管再建の可能性などを考慮する必要がある¹¹⁾。本症例のように先行手術や長期的カテーテル留置などの影響でバスキュラーアクセスの制限がある症例において、内頸静脈 1 本で V-V ECMO が施行可能な Avalon DLC は有用なデバイスである。

ダブルルーメンカテーテルは上述する血管確保におけるメリットに加えて、ECMO 施行中の鎮静管理やリハビリテーション介入においても利点がある。本邦ではこれまで、Jostra VVDL が使用可能であったが、2015 年に供給停止となった⁷⁾。欧米では 12Fr Origen カテーテル (Origen Biomedical, テキサス, アメリカ) が使用されていたが、ポリウレタンを素材とし、体温に加熱されると変形しやすくカテーテルの曲がりによる閉塞が起きやすいと報告されていた³⁾。Avalon DLC はカニューレ内にワイヤー補強を組み込み、曲がりや捻れによるカテーテルの閉塞などを防止する設計となっている (Fig. 4)。

近年、Avalon DLC の使用において、右心系穿孔やカテーテル位置異常による問題が報告されており^{12,13)}、TTE や経食道心エコー、X 線透視装置等を用いてガイドワイヤーとカテーテルの位置を確認することが重要である。Avalon を挿入する際に用いる

Avalon insertion kitのガイドワイヤーは、穿孔のリスクを抑えるための柔軟な構造が故に、気づかないうちに心内でループを形成しながら下大静脈に入っていることがある^{13,14)}。このループが検出されないと、カニューレを右室前壁や右房側壁に向かわせ穿孔させてしまう危険があり十分に注意しなければならない^{14,15)}。エコーガイドのみでは、ワイヤー経路の描出に限界があり、ワイヤーを右心房から下大静脈に通す際にも困難なことが少なくないため、X線透視装置の併用が望ましい¹²⁾。特に今回のように先天性心疾患に加えて多発奇形を有する場合、血管走行が通常解剖と異なるため複数の検査機器を用いてカテーテルの走行を把握する必要があると思われる。

また、Avalon DLCは従来のカテーテルよりも

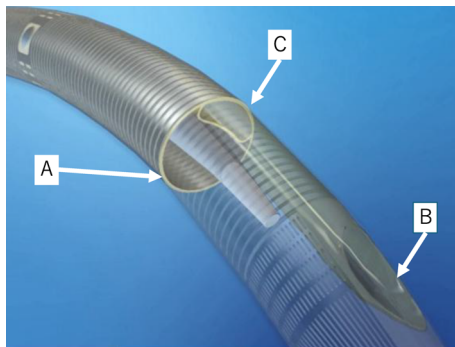
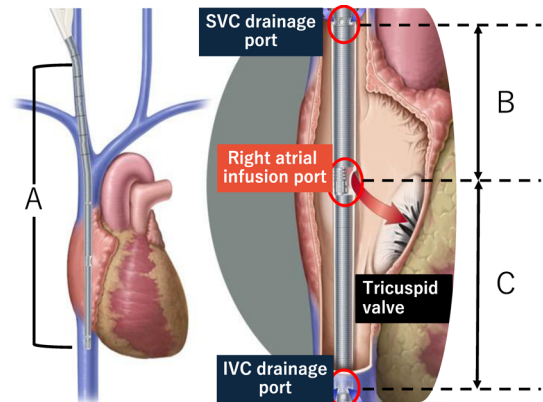


Fig. 4 Design concept of the Avalon catheter

(A) Anti-kink stainless steel-reinforced catheter with an ultrathin wall. (B) Reinforced reinfusion port. (C) Ultra-thin membrane reinfusion lumen. The image was provided by Getinge.

recirculationを減少させるために上大静脈と下大静脈に脱血孔を、三尖弁側に送血孔を向ける構造となっており、適切なポート位置を保つことが重要である。例えば、先端が肝静脈に入ると脱血不全を来し、深



Size(Fr)	A(cm)	B(cm)	C(cm)	Weight(kg) in previous report
13	11	1.7	2.8	3.0(2.5-8.5)
16	14	3.1	4	8.1(2.9-17.8)
19	21	4.3	5.7	11.7(9.3-23)

Fig. 5 Patient weight in previous cases and the distance between the drainage port and the infusion port of the Avalon for each size

In a 13Fr cannula, the insertable length is 11 cm (A); the right atrial infusion port and SVC drainage port are only 1.7cm apart (B); the right atrial infusion port and IVC drainage port are only 2.8cm apart (C). Body weight in a previous report refers to References 17–20).

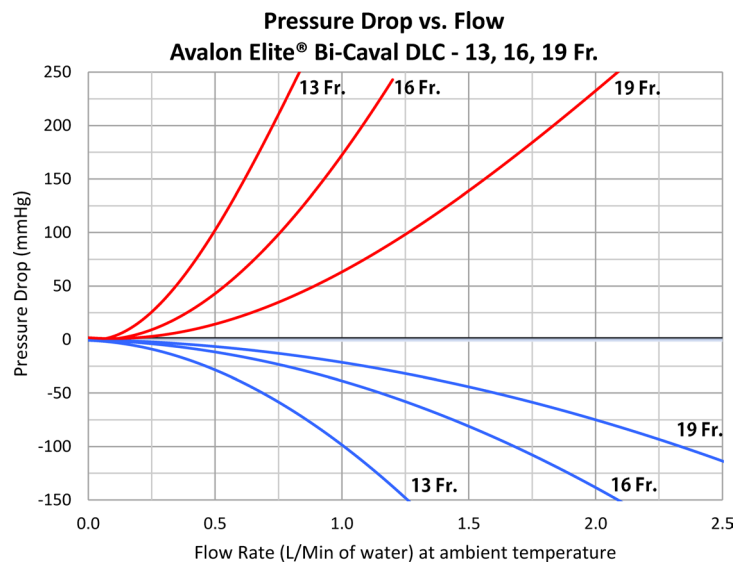


Fig. 6 Relationship between the pressure drop and flow rate for each catheter size.

The image was provided by Getinge.

く入りすぎて送血口が肝静脈付近に向くと肝うっ血を来することが知られている¹⁴⁾。先端が右房壁に近接するような浅い状態が続くと、心房壁へ継続的な機械刺激が加わり穿孔に至る可能性も指摘されている¹⁶⁾。このようなカテーテルの位置不良による合併症は、体格やカテーテルデザインと関連がある¹²⁾。Avalon DLC 13Fr では、送血孔と下大静脈および上大静脈側の脱血孔との距離はわずか 1.7cm, 2.8cm である (Fig. 5)。右心房のサイズが小さいことも相まって、患者の微妙な体位変換や横隔膜の伸展により、不適切な位置となりやすい。このように小児では、より太いカテーテルを使用する成人よりも、合併症が起きやすいと考えられる。カテーテルサイズは患者の体格や必要とされる流量により選択することになるが (Figs. 5, 6), 挿入前に内頸静脈径に加えて上大静脈、三尖弁、肝静脈の間の距離を把握することは合併症の予防に有用である^{12, 17)}。Fig. 6 の注意点として、この流量圧曲線は粘性のない水を用いた理論値であり、粘性のある血液ではより急峻な曲線を描くため、表示よりも太いカテーテルを要する場合があることを念頭において参考にする必要がある。本症例では手術中のみの使用であり、カテーテルの位置不良による合併症はなかったが、重症呼吸不全患者等に長期間使用するような場合には、胸部 X 線や TTE を用いて日々カテーテルの位置を確認することが望ましい²⁾。

今回の使用報告に関するリミテーションは以下の点が考えられる。一つ目は合併症なく経過したが、短期間の使用であったため今後長期使用経験を重ねていく必要があることである。二つ目は内頸静脈へのカニューレーションによる静脈還流障害の可能性も考慮する必要があることである²¹⁾。例えば、本症例のように左上大静脈遺残がある場合、右上大静脈は左に比べて細いことが多い²²⁾。また成人では、より太い Avalon DLC が頭蓋内出血の発生率を高める可能性が報告されており²³⁾、頭蓋内合併症、血栓閉塞や血管損傷に留意しながら、十分な ECMO 流量を達成できる最小のカニューレを使用すべきことが示唆される。

結 語

従来のデバイスを用いての ECMO バスキュラーアクセスに制限のある多発奇形を有する先天性心疾患の乳児例に対して Avalon DLC が有用であった。本症例では合併症なく V-V ECMO を使用可能であったが、Avalon DLC が乳幼児への V-V ECMO 導入方法の一つとして確立するには更なる国内経験の蓄積が必要で

ある。

倫理的配慮

症例の報告にあたり、保護者に同意を得た。

利益相反

本論文に関して、開示すべき利益相反事項はない。

著者の役割

前田昂大は筆頭著者として論文の構想ならびに患者情報の収集を行い、論文を執筆した。酒井渉は論文の構想に関与し、論文執筆における直接的な指導を行った。提島丈雄、小笠原裕樹は患者情報の収集を行った。大野真由美、名和智裕、澤田まどか、高室基樹は論文執筆の指導および批判的校閲に関与した。著者全員が出版原稿の最終承認を行った。

引用文献

- 1) Bartlett RH, Gazzaniga AB, Jefferies MR, et al: Extracorporeal membrane oxygenation (ECMO) cardiopulmonary support in infancy. *Trans Am Soc Artif Intern Organs* 1976; **22**: 80-93
- 2) Guner YS, Khemani RG, Qureshi FG, et al: Outcome analysis of neonates with congenital diaphragmatic hernia treated with venovenous vs venoarterial extracorporeal membrane oxygen. *J Pediatr Surg* 2009; **44**: 1691-1701
- 3) Lazar DA, Cass DL, Olutoye OO, et al: Venovenous cannulation for extracorporeal membrane oxygenation using a bicaval dual-lumen catheter in neonates. *J Pediatr Surg* 2012; **47**: 430-434
- 4) Klein MD, Andrews AF, Wesley JR, et al: Venovenous perfusion in ECMO for newborn respiratory insufficiency: A clinical comparison with venoarterial perfusion. *Ann Surg* 1985; **201**: 520-526
- 5) 西岡貴弘, 富田 英, 澤田まどか, ほか: 乳幼児の腸骨大腿静脈閉塞及び高度狭窄に対する経カテーテル的再建術—ExpressTM Vascular LD スtentを用いて—. *日小児循環器会誌* 2011; **27**: 270-274
- 6) Imamura M, Schmitz ML, Watkins B, et al: Venovenous extracorporeal membrane oxygen for cyanotic congenital heart disease. *Ann Thorac Surg* 2004; **78**: 1723-1727
- 7) 市場晋吾, 鈴木健一, 清水敬樹, ほか: ECMO 関連デバイスの特徴と注意点. *人工呼吸* 2017; **34**: 138-148
- 8) Heiss KF, Clark RH, Cornish JD, et al: Preferential use of venovenous extracorporeal membrane oxygenation for congenital diaphragmatic hernia. *J Pediatr Surg* 1995; **30**: 416-419
- 9) 日本小児集中治療研究会(編): 小児救命救急・ICU ピックアップ7 ECMO. 東京, メディカル・サイエンス・インターナショナル, 2023
- 10) Miyahara S, Inoue T, Minami H, et al: Total arch replacement via antero-lateral thoractomy with partial sternotomy in patients with a tracheostoma: report of two cases. *Surg Today* 2014; **44**: 972-975
- 11) Thiagarajan RR, Barbaro RP, Rycus PT, et al: ELSO mem-

- ber centers: Extracorporeal life support organization registry international report 2016. *ASAIO J* 2017; **63**: 60–67
- 12) Jarboe MD, Gadepalli SK, Church JT, et al: Avalon catheters in pediatric patients requiring ECMO: Placement and migration problems. *J Pediatr Surg* 2018; **53**: 159–162
 - 13) Berdajs D: Bicaval dual-lumen cannula for venovenous extracorporeal membrane oxygenation: Avalon® cannula in childhood disease. *Perfusion* 2015; **30**: 182–186
 - 14) Hirose H, Yamane K, Marhefka G, et al: Right ventricular rupture and tamponade caused by malposition of the Avalon cannula for venovenous extracorporeal membrane oxygenation. *J Cardiothorac Surg* 2012; **7**: 36
 - 15) Le NM, Dang UT, Vu HV, et al: Bicaval dual lumen cannula placement using transthoracic echocardiography in COVID-19 scenario: Pearls and pitfalls. *BMJ Case Rep* 2022; **15**: e249195
 - 16) Speggorin S, Robinson SG, Harvey C, et al: Experience with the Avalon® bicaval double-lumen veno-venous cannula for neonatal respiratory ECMO. *Perfusion* 2015; **30**: 250–254
 - 17) Ellis WC, Schafer M, Barrett CS, et al: Vascular anatomical considerations and clinical decision making during insertion of the Avalon® Elite Dual Lumen single-site veno-venous ECMO cannula in children weighing less than 20 kg. *Perfusion* 2019; **34**: 267–271
 - 18) Czerwonko ME, Fraga MV, Goldberg DJ, et al: Cardiovascular perforation during placement of an Avalon Elite® Bicaval Dual Lumen ECMO Cannula in a newborn. *J Card Surg* 2015; **30**: 370–371
 - 19) Fallom SC, Shekerdeman LS, Olutoye OO, et al: Initial experience with single-vessel cannulation for venovenous extracorporeal membrane oxygenation in pediatric respiratory failure. *Pediatr Crit Care Med* 2013; **14**: 366–371
 - 20) Fujita S, Ushijima T, Shinohara G, et al: Veno-venous extracorporeal membrane oxygenation support of pulmonary insufficiency using Avalon Elite® cannula in pediatric patients. *J Artif Organs* 2024; **27**: 301–305
 - 21) Walker LK, Short BL, Traystman, RJ: Impairment of cerebral autoregulation during venovenous extracorporeal membrane oxygenation in the newborn lamb. *Crit Care Med* 1996; **24**: 2001–2006
 - 22) Zhang L, Ling G, Gang Y, et al: Classification and quantification of double superior vena cava evaluated by computed tomography imaging. *Quant Imaging Med Surg* 2022; **12**: 1405–1414
 - 23) Mazzeffi M, Kon Z, Menaker J, et al: Large dual-lumen extracorporeal membrane oxygenation cannulas are associated with more intracranial hemorrhage. *ASAIO J* 2019; **65**: 674–677