

# Development of a new transapical aortic cannula for the operation of the aortic dissection

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2017-10-04 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: メールアドレス: 所属:
URL	<a href="http://hdl.handle.net/2297/27825">http://hdl.handle.net/2297/27825</a>

## 大動脈解離手術時の体外循環における心尖部送血用カニューレの開発

金沢大学大学院医学系研究科循環医学専攻心肺病態制御学

(旧講座名：外科学第一)

(主任：渡邊 剛教授)

史 国 棟

Stanford A型急性大動脈解離において経心尖部大動脈送血方法のために開発した心尖部送血カニューレの有用性について検討を行った。開発したカニューレはニチノール製のMatsui-Kitamuraステントを骨格とした。直径6mm、長さ15cm、表面を厚さ0.15mmのシリコンで被覆し、心筋貫通部位に径4mm長さ20mmのリングを装着した。対象は平均体重 $36.3 \pm 10.2\text{kg}$ のブタ8匹とし、カニューレ挿入手技を評価し、観察期間の深部体温(°C)、左心室心筋温(°C)、平均動脈圧(mmHg)、脈拍数(beats/min)、ベント量(ml)などのパラメーターについて15分毎に計測し、検討を行った。術中はカニューレの挿入に難渋することはなかった、心筋切開部からの出血もなかった。また、実験の経過でシリコン膜が損壊することはなかった。予定送血流量で平均血圧は50mmHgと満足のいく値を維持できた。左室からのベント量も平均 $0.87\text{ml/kg/min}$ と臨床的に問題となる量ではなく、大動脈弁閉鎖不全は生じていないと考えられた。また、体外循環開始後20分で $20^\circ\text{C}$ 近くまで深部体温が低下しており、この還流量が十分であることが立証された。新開発カニューレは平均動脈圧、脈拍数、ベント量の点で優れる傾向にあった。本カニューレによる人工心肺は安全に挿入が可能であり、かつ十分な送血量を確保でき、手術侵襲が少ないため有用なカニューレと考えられた。

**Key words** Stanford A型急性大動脈解離, 体外循環, 心尖部送血

Stanford A型急性大動脈解離は致死率の高い病態であり、特に偽腔開存型の救命には外科治療が最も有効である<sup>1)</sup>。教室でも本疾患を含めた胸部大動脈疾患の手術成績向上のため、体外循環を含めた術式にさまざまな臨床的研究を行っている。しかし、本疾患に対する外科治療—人工血管置換術は、体外循環の確立、脳を含めた主要臓器の灌流、解離した動脈と人工血管との吻合など数多くの手技的問題が今日なお存在する。手術成績は、国際的な大規模多施設間研究(IRAD, the International Registry of Acute Aortic Dissection)で約25%と高率の在院死が報告されている<sup>2)</sup>。脳神経障害、臓器灌流不全などの重篤な周術期合併症も約25%と発症率がきわめて高く<sup>3)</sup>、Stanford A型急性大動脈解離に対する解決すべき問題が山積しているのが実状である。

このような満足できない手術成績の原因の一つとして、体外循環時の臓器灌流不全・不均一がある<sup>2)</sup>。体外循環では、十分な径があること、生理的な順行性灌流が可能であることから、上行大動脈が送血用カニューレの挿入部位として最適である。しかし、Stanford A型解離では上行大動脈が解離しているため、カニューレが挿入できない。さらに本疾患では大動脈のみならず、しばし

ば頸部3分枝から腹部主要分枝にまで解離して狭窄や閉塞を来すため、体外循環時の血液還流の維持は容易ではない。このため本疾患では、大腿動脈に送血カニューレを挿入する非生理的な逆行性送血が広く施行されていた。この大腿動脈からの逆行性送血法は、簡便な手技で迅速に体外循環を確立できるが、本法が臓器灌流障害および脳塞栓症などの一因であることは周知の事実である<sup>4)5)</sup>。

近年、確実かつ十分な灌流量の維持のために、様々な送血法(送血用カニューレの挿入部位)に関する研究が行われている。なかでも、腋窩動脈からの順行性送血法が多く施設で臨床応用されている<sup>6)7)</sup>。しかし、本法もまた送血部位より中枢側の解離による血流不足などの問題が指摘されている<sup>8)</sup>。

今回、筆者は左室心尖部から大動脈弁経由で上行大動脈にカニューレ挿入する心尖部送血法に着目した。心尖部送血法は、大動脈解離の状況に影響されずに、十分な順行性送血が期待される。しかし、左室から挿入すること、大動脈弁を損傷する危険性があることなどから、現在限られた施設でのみ施行されているにすぎない<sup>9)10)</sup>。心尖部送血法はこれらの手技的合併症が回避できれば、

本疾患に対する理想的手技になることが期待される。筆者は安全な心尖部送血用カニューレとその挿入法を考案し、動物実験にて基礎的検討を行ったので報告する。

## 対象及び方法

### I. 対象

体重23kg-54kgで平均 $36.3 \pm 10.2$ kg (平均±標準偏差)のブタ(メス)8匹を用いた。

### II. 方法

#### 1. 開発した心尖部送血用カニューレ

ニチノール製のMatsui-Kitamura (MK) ステントを骨格とした<sup>1)</sup>。MKステントは直径0.4mmのニチノールワイヤーを格子状に編み込み、両端をシリンダーで接続し、直径6mm長さ15cmの円筒状とした。このMKステントの表面を厚さ0.15mmのシリコンで被覆し、心筋貫通部位に径4mm長さ20mmのリングを装着した(図1)。このカニューレを14Fのシースシステム(Zenith leg delivery sheath, Cook Japan, 東京)に装填した。

#### 2. 手術手技

全身麻酔の導入のため、塩酸ケタミン(ケタラル、第一三共、東京)10mg/kgを筋肉内に投与した。次に、仰臥位にて、2%ハロタン(halothane)(ヘキストジャパン、東京)、笑気(2L/min)および酸素(4L/min)の混合にて吸入麻酔を行った。実験動物は完全に無意識下気管内挿管を行い、1%ハロタンで麻酔を維持した。心電図をモニターし、右内頸動脈からの観血的動脈圧測定を行った。耳内縁静脈で静脈路を確保した。

胸骨正中切開にて心臓に到達した。ヘパリンナトリウム(ノボ・ヘパリン、持田、東京)3mg/kgを右心耳より投与した。右心耳に4-0prolineでタバコ縫合を置き、その中心より脱血用カニューレ(ライトアングルチップ67530, 日本Medtronic, 東京)を右心房に挿入した。次に右上肺静脈に4-0prolineでタバコ縫合を置き、その中心よりベント用カニューレ(LVベントカテーテル12016, 日本Medtronic, 東京)を左心房を経由し左心室内に挿入した。心筋温計測計(CE-309, Sato Shouji, 東京)および直腸内に深部体温計を設置後、左心室心尖部に4-0prolineでタバコ縫合を置いた。

#### 3. 送血用カニューレの挿入

心尖部を持ち上げ、タバコ縫合の中心部に2mmの切開を加えた。ガイドワイヤー(RF-GA18083, テルモ、東京)を挿入後(図2a)、ダイレーター(FEM-018-A, Edwards Life sciences, Irvine, USA)にて切開口を4mmまで拡張した。開発した送血用カニューレを装填した14Fのシースシステムをガイドワイヤーに沿って、リングが心筋貫通部位に位置するように、上行大動脈まで挿入した(図2b)(図3)。カニューレ先端の位置確認は手動的もしくは超音波診断装置(prosound 2, アロカ、東京)で行った。カニューレが移動しないように、プッシャー

で位置を保持しながら(図2c)、シースとガイドワイヤーを同時に抜去した(図2d)、最後に送血用カニューレと人工心肺からの送血用チューブを接続した。

#### 4. 体外循環の維持

人工心肺はローラーポンプ(Sarns8000, テルモ、東京)とホローファイバー型人工肺(キャピオックスRX15, テルモ、東京)とで構成し、体外循環中の送血温は20℃、送血量は60-70ml/kg/minとした。体外循環開始後は吸入麻酔を中止し、プロポフォール(デュプリパン, アストラゼネカ, 大阪)5mg/kg/hrを投与した。体外循環時間は60分を目標とし、心室細動発生時は打ち切りとした。

#### 5. 評価及び測定項目

カニューレ挿入手技を評価した。観察期間の深部体温(℃)、左心室心筋温(℃)、平均動脈圧(mmHg)、脈拍数(beats/min)、ベント量(ml)を15分毎に計測した。各測定値は平均値±標準偏差で表記した。

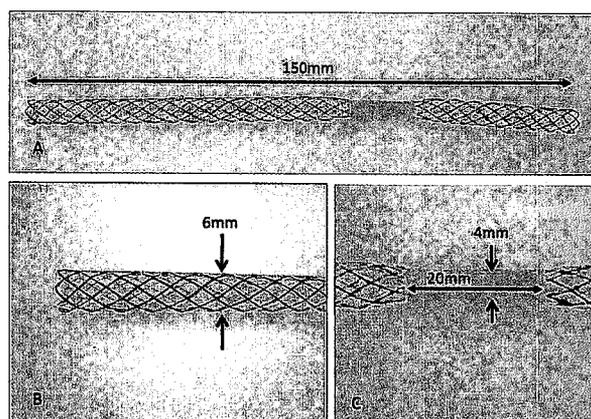


Fig.1. The developed cannula. B shows the enlarged image of the cannula edge in A. C shows the enlarged image of the narrowed area in A.

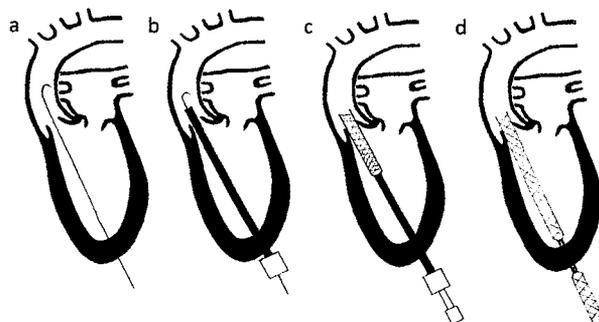


Fig.2. The schema of the cannula deployment. At first, the guide wire was inserted to the ascending aorta via the aortic valve from the left ventricular apex (a). The sheath system with the cannula was inserted (b). By the pusher lod, the cannula was deployed actually (c). At last, the position of the narrow arta was adjusted (d).

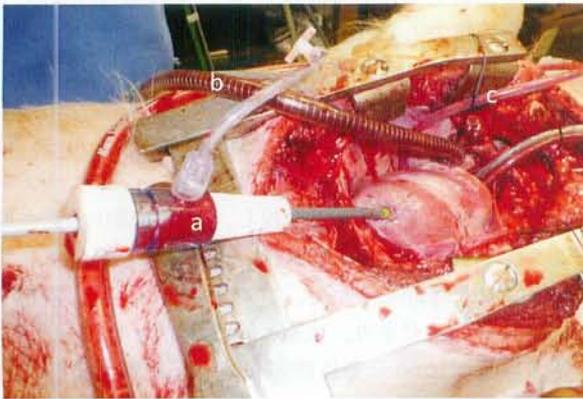


Fig.3. Intraoperative findings. After the chest was opened, the extracorporeal circulation was established. The sheath system was inserted from the left ventricular apex (a). The venous cannulae was inserted into the right atrium (b). The vent catheter was inserted into the left ventricular through the right pulmonary vein (c).

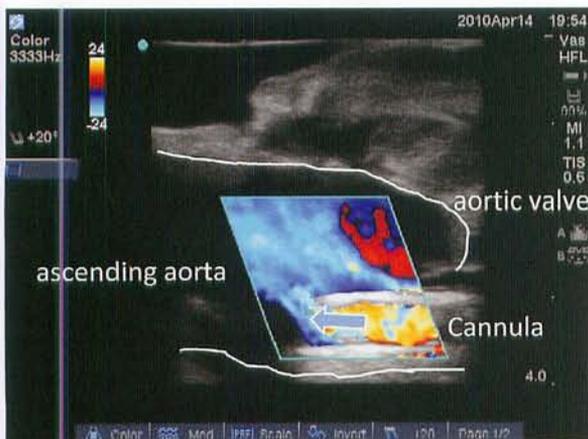


Fig.4. Intraoperative ultrasonography. The upper and lower line shows the margin of the ascending aorta. The yellow area is the forward flow in the cannula. The blue and red areas are the blood flow in the ascending aorta. The blue arrow shows the blood flow in the new cannula.

## 6. 動物実験規定

本研究は、金沢大学学際科学センター実験動物研究施設にて、金沢大学動物実験規定を遵守し施行された。

### 成 績

#### I. カニューレの挿入

カニューレを装填したシースシステムの挿入に難渋することはなかった。先端が上行大動脈にあることは、用手的にもまた術中超音波検査でも容易に確認しえた(図4)。また、術中に左心室の挿入口からの出血も認められなかった。

#### II. 体外循環中の循環動態

平均動脈圧は体外循環開始時  $75 \pm 4.45 \text{ mmHg}$ 、15分

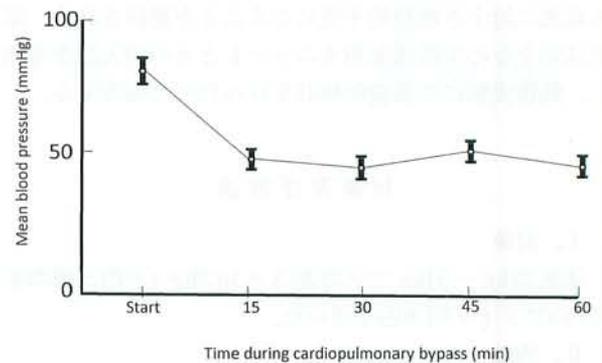


Fig.5. Change of the mean blood pressure during cardiopulmonary bypass  
The graph shows  $\bar{x} \pm \text{SD}$ . White center circle is mean value.

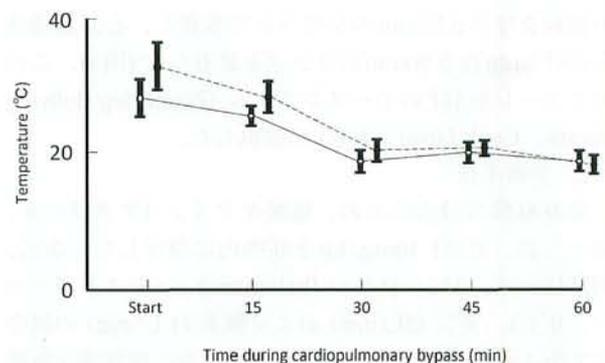


Fig.6. Change of the body & cardiac muscle temperatures during cardiopulmonary bypass  
The graph shows  $\bar{x} \pm \text{SD}$ . White center circle is body temperature. Black circle is cardiac muscle temperature.

経過時  $47.5 \pm 2.5 \text{ mmHg}$ 、30分経過時  $43.25 \pm 2.75 \text{ mmHg}$ 、45分経過時  $51.75 \pm 2.75 \text{ mmHg}$ 、60分経過時  $44 \pm 3.5 \text{ mmHg}$ であった(図5)。深部体温及び左室心筋温は体外循環開始時  $28.3 \pm 2.5 \text{ }^\circ\text{C}$ 、 $30.9 \pm 3.5 \text{ }^\circ\text{C}$ 、15分経過時  $24.1 \pm 2.1 \text{ }^\circ\text{C}$ 、 $29.2 \pm 2.3 \text{ }^\circ\text{C}$ 、30分経過時  $18.0 \pm 2.0 \text{ }^\circ\text{C}$ 、 $19.0 \pm 1.9 \text{ }^\circ\text{C}$ 、45分経過時  $18.7 \pm 2.0 \text{ }^\circ\text{C}$ 、 $19.3 \pm 1.4 \text{ }^\circ\text{C}$ 、60分経過時  $17.9 \pm 1.8 \text{ }^\circ\text{C}$ 、 $16.9 \pm 1.8 \text{ }^\circ\text{C}$ であった(図6)。心拍数は  $90 - 140 \text{ beats/min}$ を推移した。3匹が体外循環開始7分後、20分後、40分後に心室細動に移行した。体外循環中の左心室ベント量は平均  $0.87 \text{ ml/kg/min}$ であった。

### 考 察

Stanford A型急性大動脈解離に対する外科治療、すなわち人工血管置換術では、迅速な体外循環の確立が必須である。かかる疾患において体外循環の確立は、開胸の必要がない大腿動脈からの送血・脱血が広く選択されてきた。大腿動脈からの送血は、病変部にカニューレシオンすることなく体外循環を速やかに確立できるという大きな利点があり、特に緊急症例では有用である。しかし、

本送血法は上行・弓部大動脈からのカニューレーション手術を必要としない反面、逆行性送血のため脳灌流が最も末梢側になること、また解離症例では偽腔優位の送血になり十分な灌流が行われず多臓器不全を来す危険性がある<sup>5)</sup>。また、逆行性送血は脳塞栓症をおこす危険性が高い<sup>4)</sup>。これらのリスクを軽減する目的で、近年、腋窩動脈からの順行性送血による体外循環が研究され臨床応用されている<sup>12)13)</sup>。この送血法では、病変部にカニューレーションをする必要がなく、さらに理論的には脳灌流が大動脈送血時のように末梢灌流にならない。Strauchら<sup>12)</sup>は、片側の腋窩動脈からの送血だけで十分な灌流量が維持でき、周術期成績も良好だったと述べている。しかし、腋窩動脈送血法でも若干の手術手技上の煩雑さがあることに加え、特に解離が頸部分枝に及んでいる場合、解離の増悪や灌流障害をきたす危険性が指摘されている<sup>6)8)14)</sup>。本邦では、大動脈送血に腋窩動脈送血を併用した体外循環を試行しており、臨床的に良好な結果を得ているが、術中の煩雑さは否めない<sup>15)16)</sup>。Stanford A型急性大動脈解離に対する体外循環については多くの研究の余地が残されている。

今回、我々が注目した心尖部送血法は、左室心尖部から大動脈弁を経由して上行大動脈に送血管を挿入・留置する方法である。本法は生理的な順行性送血が可能で、カニューレーションが速やかに行えるといった大きな利点がある。心尖部送血ではカニューレを動脈に挿入しないので、動脈硬化の影響を受けず、また解離などの合併症も生じない<sup>9)10)17)</sup>。Wadaら<sup>9)</sup>は送血管挿入から動脈血液が患者の体内に入るまで10秒程度と述べている。しかし、この方法が広く普及していない理由として、カニューレが左心室を貫通する必要があること、さらに大動脈弁経路となることが考えられる。左心室挿入部からの出血は致命的であり、また縫合止血により心筋虚血を来す危険性がある。また、心尖部からのカニューレーションは大動脈弁の変形を来し、閉鎖不全を生じることなども当然危惧される。Wadaら<sup>18)</sup>もカニューレの挿入には特別な形状のスタイレットを用いたり、径7mmの柔軟性に富んだカニューレを使用しているが、心尖部が挙上できない症例では使用が困難と報告している。

本研究で、前述の問題点を改善すべく、新たな送血用カニューレを研究・開発した。まず、内腔を保ったまま屈曲に追従するようにニチノール製のMKステントを骨格にした。我々は、MKステントを骨格としたステントグラフトの臨床例を数多く有し、本ステントの柔軟性については熟知している。このMKステントを厚さ0.15mmのシリコン膜で被覆した。挿入に際してもガイドワイヤーを用いた誘導は容易であり、用手的もしくは超音波診断装置での先端の確認は容易であった。実際の臨床ではX線照射装置の使用により、より確実になると考えられる。さらに、このカニューレの特徴は心筋貫通

部位の径のみを4mmに縮小させ、心筋切開部を最小にすることができるといえる点である。術中は心筋切開部からの出血はなかった。また実験の経過で、このシリコン膜が損壊することはなかった。予定送血流量で、平均血圧は50mmHgと満足のいく値を維持できた。左室からのベント量も平均0.87ml/kg/minと臨床的に問題となる量ではなく、大動脈弁閉鎖不全は生じていないと考えられた。また、体外循環開始後20分で20℃近くまで深部体温が低下しており、この還流量が十分であることが立証された。

今後は、心筋貫通部位のカニューレの至適縮小率や縮小部位の長さを検討していきたい。また、体外循環離脱時の基礎的研究も必須である。実際の臨床では、基部の解離により大動脈弁閉鎖不全を来している症例、心尖部からの挿入が困難な症例も認められるであろう。術前・術中の評価を正確に行い、心尖部送血を含めた適切な送血法を選択していきたい。

## 結 論

Stanford A型急性大動脈解離に対する人工血管置換術での体外循環をより安全かつ確実に行うための送血用カニューレを開発した。さらに、カニューレの挿入方法と体外循環中の循環動態について検討し、以下の結果を得た。

1. カニューレを装填したシースシステムの挿入に難渋することはなかった。先端が上行大動脈にあることは容易に確認しえた。また、術中に左心室の挿入口からの出血も認めらなかった。本カニューレは術中安全に挿入が可能であった。

2. 予定送血流量で、平均動脈圧が満足のいく値を維持できた。左心室からのベント量が臨床的に問題となる量ではなく、大動脈弁閉鎖不全は生じていないと考えられた。体外循環中では、十分な還流量を確保できたことが立証された。

## 謝 辞

稿を終えるにあたり、本研究を直接ご指導いただいた金沢大学大学院医学系研究科心肺病態制御学講座渡邊 剛教授に深甚なる謝意を表します。また、研究にご助言・ご協力をいただいた金沢大学附属病院心臓血管外科の諸先生方、臨床工学士の要田宏樹氏に心より御礼申し上げます。

## 文 献

- 1) Hagan PG, Nienaber CA, Isselbacher EM, Bruckman D, Karavite DJ, Russman PL, Evangelista A, Fattori R, Suzuki T, Oh JK, Moore AG, Malouf JF, Pape LA, Gaca C, Sechtem U, Lenferink S, Deutsch HJ, Diedrichs H, Marcos y Robles J, Llovet A, Gilon D, Das SK, Armstrong WF, Deeb GM, Eagle KA. The International Registry of Acute Aortic Dissection (IRAD): new insights into an old disease. *JAMA* 283: 897-903, 2000
- 2) Trimarchi S, Nienaber CA, Rampoldi V, Myrmet T, Suzuki T, Mehta RH, Bossone E, Cooper JV, Smith DE, Menicanti L,

- Frigiola A, Oh JK, Deeb MG, Isselbacher EM, Eagle KA; International Registry of Acute Aortic Dissection Investigators. Contemporary results of surgery in acute type A aortic dissection: The International Registry of Acute Aortic Dissection experience. *J Thorac Cardiovasc Surg* 129: 112-122, 2005
- 3) Tsai TT, Evangelista A, Nienaber CA, Trimarchi S, Sechtem U, Fattori R, Myrmet T, Pape L, Cooper JV, Smith DE, Fang J, Isselbacher E, Eagle KA; International Registry of Acute Aortic Dissection (IRAD). Long-term survival in patients presenting with type A acute aortic dissection: insights from the International Registry of Acute Aortic Dissection (IRAD). *Circulation* 114 (1 Suppl): I350-356, 2006
- 4) Price DL, Harris J. Cholesterol emboli in cerebral arteries as a complication of retrograde aortic perfusion during cardiac surgery. *Neurology* 20: 1209-1214, 1970
- 5) Robicsek F, Guarino RL. Compression of the true lumen by retrograde perfusion during repair of aortic dissection. *J Cardiovasc Surg* 26: 36-40, 1985
- 6) Pasic M, Schubel J, Bauer M, Yankah C, Kuppe H, Weng YG, Hetzer R. Cannulation of the right axillary artery for surgery of acute type A aortic dissection. *Eur J Cardiothorac Surg* 24: 231-235, 2003
- 7) Siminelakis SN, Baikoussis NG, Papadopoulos GS, Beis IP. Axillary artery cannulation for cardiopulmonary bypass during surgery on the ascending aorta and arch. *J Card Surg* 24: 301-304, 2009
- 8) Orihashi K, Sueda T, Okada K, Takahashi S. Compressed true lumen in the innominate artery: a pitfall of right axillary arterial perfusion in acute aortic dissection. *J Thorac Cardiovasc Surg* 137: 242-243, 2009
- 9) Wada S, Yamamoto S, Honda J, Hiramoto A, Wada H, Hosoda Y. Transapical aortic cannulation for cardiopulmonary bypass in type A aortic dissection operations. *J Thorac Cardiovasc Surg* 132: 369-372, 2006
- 10) Sosnowski AW, Jutley RS, Masala N, Alexiou C, Swanevelder J. How I do it: transapical cannulation for acute type-A aortic dissection. *J Cardiothorac Surg* 3: 4, 2008
- 11) Sanada J, Matsui O, Terayama N, Kobayashi S, Minami T, Kurozumi M, Ohtake H, Urayama H, Endo M. Clinical application of a curved nitinol stent-graft for thoracic aortic aneurysms. *J Endovasc Ther* 10: 20-28, 2003
- 12) Strauch JT, Spielvogel D, Lauten A, Lansman SL, McMurtry K, Bodian CA, Griep RB. Axillary artery cannulation: routine use in ascending aorta and aortic arch replacement. *Ann Thorac Surg* 78: 103-108, 2004
- 13) Neri E, Massetti M, Capannini G. Axillary artery cannulation in type a aortic dissection operations. *J Thorac Cardiovasc Surg* 118: 324-329, 1999
- 14) Rescigno G, Aratari C, Matteucci ML. Axillary artery cannulation pitfalls. *J Thorac Cardiovasc Surg* 138: 251, 2009
- 15) Kaneda K, Nishiwaki N, Nagato H, Hirao S, Heima D, Morishima A. Surgical treatment for acute type A aortic dissection; for betterpostoperative qualityof life. *Kyobu Geka* 60: 273-278, 2007
- 16) Kazui T, Yamashita K, Washiyama N, Terada H, Bashar AH, Suzuki T, Ohkura K. Impact of an aggressive surgical approach on surgical outcome in type A aortic dissection. *Ann Thorac Surg* 74: S1844-1847, 2002
- 17) Jutley RS, Masala N, Sosnowski AW. Transapical aortic cannulation: the technique of choice for type A dissection. *J Thorac Cardiovasc Surg* 133: 1393-1394, 2007
- 18) Wada S, Yamamoto S, Honda J, Wada H, Hiramoto A, Suzuki H, Aoki M, Matsuyama T, Hosoda Y. Transapical aortic cannulation in the operation of acute type A aortic dissection. *Kyobu Geka* 60: 315-318, 2007

**Development of a new transapical aortic cannula for the operation of the aortic dissection** Guodong Shi, General and Cardiothoracic Surgery, Graduate School of Medical Science, Kanazawa University, Kanazawa 920-8640 Jusen Med. Soc., **119**, 148 – 153 (2010)

**Key words** A-Type Acute Aortic Dissection, Transapical Aortic Cannulation

#### **Abstract**

We examined the usefulness of an apical cannula developed for the apical aortic blood transmission procedure in A-Type Acute Aortic Dissection. The cannula had a skeleton of a Matsui-Kitamura (MK) stent made from nitinol. It is 6mm in diameter, 15cm in length, the surface is covered by 0.15mm thick silicone, and the cardiac muscle penetration part was fitted with a ring of diameter 4mm and length 20mm. The cannulation technique was evaluated on eight pigs with an average weight of  $36.3 \pm 10.2$ kg, and test parameters such as core temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ), left ventricle cardiac muscle temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ), mean arterial pressure (mmHg), pulse rate (beats/min), and vent rate (ml), were measured during the observation period every 15 minutes. During the procedure, there was no trouble in inserting the cannula, and there was no bleeding from the cardiac muscle incision. Also, the silicone film did not break during the course of the experiment. At the scheduled blood transmission volume, mean blood pressure was maintained at a satisfactory value of 50mmHg. The vent rate from the left ventricle, an average of 0.87ml/kg/min, presented no clinical problem, and it appeared that there was no aortic insufficiency. Moreover, after extracorporeal circulation was started, the core temperature fell to about  $20^{\circ}\text{C}$  in 20 minutes, which showed that the reflux volume was sufficient. The new cannula excelled in respect of mean arterial pressure, pulse rate, and vent rate. Since an artificial heart-lung can be safely inserted with this cannula, it ensures sufficient blood transmission volume, and it is minimally invasive, we consider it to be a useful cannula.