原著

経皮的動脈弁置換術（TAVR）における 3D ナビゲーションシステム使用経験

柳川 康洋^{*} 浅田 朋宏^{*} 土井 司^{*}
前田 孝一^{*1} 島村 和男^{*1} 鳥飼 慶^{*1}
倉谷 徹^{*1} 澤 芳樹^{*1}

3D-Navigation System Use Experience in Transcatheter Aortic Valve Replacement

Yasuhiro Yanagawa^{*}, Tomohiro Asada^{*}, Tukasa Doi^{*}, Koichi Maeda^{*1},
Kazuo Shimamura^{*1}, Kei Torikai^{*1}, Toru Kuratani^{*1} and Yoshiki Sawa^{*1}

^{*} Department of Medical Technology, Division of Radiology, Osaka University Hospital

^{*1} Department of Cardiovascular Surgery, Osaka University Graduate School of Medicine

Abstract

Transcatheter aortic valve replacement becomes the topics as low invasive surgery for the high-risk aortic stenosis worldwide. The AVI Support prototype was introduced in our institution, and is used for 3D-Navigation system. The purpose of this study is to examine the optimization and usefulness of the 3D-Navigation system in TAVR.

In this study, I evaluated the 3D reconfiguration image by the difference in Dyna-CT imaging condition, and the gap of the most suitable angle calculated from AVI Support prototype and preoperative images. And also I elucidated clinical impacts.

Regarding 3D reconfiguration image, reduction of the contrast media consumption is possible by the triple attenuant imaging with the saline, I could secure enough imaging in clinical. In addition, I confirmed improvement of a picture by rapid-pacing and breath-holding. Some gaps occurred between the most suitable angle calculated from AVI Support prototype and preoperative images.

In conclusion, the AVI Support prototype got the most suitable angle calculation so quickly. In addition, the AVI Support prototype is the very useful tool to get precise three dimensional image, furthermore it may be able to reduce total contrast media consumption.

1. 緒言（はじめに）

近年、高齢化社会が加速度的に進んでおり、高齢者における心疾患の問題が深刻化してい

る。とりわけ、石灰沈着性または変性大動脈弁疾患は高齢患者において最も頻発する弁障害であると考えられている¹⁾。大動脈弁狭窄症の患者は、長期間無症候性のままであることが多いのが特徴であるが、一度症状を発症した場合には迅速な治療が要求される²⁾。大動脈弁狭窄症に対する手術は、大動脈弁を切り取って人工弁に付け替える治療方法が一般的である。この

^{*} 大阪大学医学部附属病院 医療技術部
放射線部門

^{*1} 大阪大学医学部附属病院 心臓血管外科
(原稿受付：2012年11月9日)

手術は、全身麻酔下で人工心肺装置を使用し、心停止下にておこなうため患者に対する侵襲度は高くなり、手術適応患者が限定される。ハイリスク患者で大動脈弁置換術が不可能な場合には、死亡率が高く、平均生存期間はわずか2、3年である³⁾。大動脈弁狭窄症は、特に高齢患者の発症が多く、重篤合併症の併発などに伴い外科手術への適応の可否が大きな問題となっている。

近年、ハイリスク大動脈弁狭窄症に対する低侵襲手術として経カテーテル的大動脈弁置換術(TAVR: Transcatheter Aortic Valve Replacement)が全世界的にトピックスとなっている⁵⁻⁷⁾。カテーテルを用いた手術の最大の長所としては、開胸せずに手技が可能であるため、高齢患者に対しては大変有用であると同時に、大動脈弁狭窄症を罹患している患者に対する治療の裾野の拡大が期待されている^{8,9)}。この術式において、透視下で人工弁(図1)を正確な位置に留置することが最も重要である。冠動脈を閉塞せずにデバイスを留置すること、留

図1 人工大動脈弁
[A] SAPIEN (Edwards 社製)
[B] Core Valve (Medtronic 社製)

図2 AVI support プロトタイプによるナビゲーション画像

置する際の最適角度を正確に算出することが手術の成否の鍵となる。当院では、人工弁の位置決め支援ソフトである AVI Support プロトタイプ¹⁰⁾を使用して2011年1月より手術を施行している(図2)。AVI Support プロトタイプとは、術中に Dyna-CT¹¹⁾(コーンビームCT)を撮影することで、上行大動脈の自動セグメンテーション、冠動脈入口部の描出、大動脈起始部に対して垂直なCアーム角度の算出、X線透視画像と3D再構成画像の重ね合わせ表示を可能としたツールであり、3Dナビゲーション画像として非常に有用である¹²⁾。しかし、造影剤使用量など撮影条件に関してはまだ不明な点が多く、さらなる検討が必要である。

2. 目 的

本稿では、AVI Support プロトタイプの臨床使用における最適化および有用性に関して検討をおこなったので報告する。

3. 方 法

検討方法は、以下の3項目とした。

- 1) Dyna-CT 撮影条件(造影剤使用量, ラビッドペーシングの有無, 呼吸停止の有無)の違いによる3D再構成画像の視覚評価
- 2) 手術前に施行した血管造影画像における最適角度と AVI support プロトタイプから算出した最適角度のずれの評価
- 3) 手術施行スタッフによる AVI Support プロトタイプの臨床使用評価

AVI Support プロトタイプ併用下で TAVR の実施に関し、手術担当スタッフ6名(心臓血管外科医師4名, コメディカルスタッフ2名)にアンケート調査をおこなった。調査内容は、

- 1) 手術精度の変化に関して
 - (1) 向上 (2) やや向上 (3) 変化なし (4) やや劣化 (5) 劣化
- 2) 手技時間の変化に関して
 - (1) 向上 (2) やや向上 (3) 変化なし (4) やや劣化 (5) 劣化
- 3) 造影剤使用量の変化に関して
 - (1) 減少 (2) やや減少 (3) 変化なし (4) やや増加 (5) 増加

- 4) AVI Support プロトタイプの臨床使用における満足度に関して
 (1) 満足 (2) やや満足 (3) 変化なし
 (4) やや不満 (5) 不満
- 5) AVI Support プロトタイプの臨床使用における問題点に関して
- 6) 今後, AVI Support プロトタイプの改善・改良を望む点に関して
- 以上の6項目でおこなった。

4. 結 果

- 1) 基本撮影条件は, 5s-DA モード, 造影剤注入量は 15 mL/sec, 75 mL, 呼吸停止あり, ラビッドペーシング (HR 180 ~ 200) ありと設定した。造影剤は, イオメロン 350[®] (エーザイ株) を使用。総注入量が多くなることを懸念し, 生理食塩水で2倍希釈 (造影剤 37.5 mL, 生理食塩水 37.5 mL) および3倍希釈 (造影剤 25 mL, 生理食塩水 50 mL) で撮影をおこなった。なお, 今回使用した装置は, 当院のハイブリッド手術室^{13~16)}内に導入された天井走行式 X 線血管撮影装置の Artis zee TA[®] (SIEMENS 社) である。Dyna-CT 撮影による 3D 再構成画像を図3~図6に示す。それぞれの撮影条件は, 造影剤3倍希釈, 呼吸停止あり, ラビッドペーシングあり (図3), 造影剤2倍希釈, 呼吸停止あり, ラビッドペーシングあり (図4), 造影剤3倍希釈, 呼吸停止なし, ラビッドペーシングあり (図5), 造影剤3倍希釈, 呼吸停止あり, ラビッドペーシングなし (図6) である。なお, TAVR は全身麻酔下で手術を施行するため, 呼吸停止に関しては麻酔科医に人工呼吸器を一時的に止めて頂くことにより実施した。
- 3D 再構成画像と Fusion 画像 (透視画像に重ねて表示させる 3D 再構成画像) において, TAVR を施行する上で重要となる, 冠動脈入口部と大動脈弁尖部の描出に関して視覚評価をおこなった。まず, 希釈度の違いによる検討をおこなった (図3と図4)。造影剤使用量が多いほど, 再構成

図3 3D 画像 (造影剤 3 倍希釈, 呼吸停止あり, ラビッドペーシングあり)

図4 3D 画像 (造影剤 2 倍希釈, 呼吸停止あり, ラビッドペーシングあり)

図5 3D 画像 (造影剤 3 倍希釈, 呼吸停止なし, ラビッドペーシングあり)

図6 3D 画像 (造影剤 3 倍希釈, 呼吸停止あり, ラビッドペーシングなし)

画像において冠動脈の抹消まで描出されるが, TAVR において重要となる冠動脈入口部の描出能に大きな差は見られなかった。

次に, 呼吸の有無の違いによる検討をおこ

なった (図3と図5). 3D再構成画像とFusion画像において, 呼吸停止なしでは冠動脈入口部がぶれて描出されており, 描出能に差が生じることが明らかになった. 最後にラピッドペーシングの有無の違いによる検討をおこなった (図3と図6). ラピッドペーシングなしで3D撮影をおこなうと, 冠動脈の描出能は著しく劣化し, 冠動脈入口部の同定は困難な画像となった.

- 2) 手術前に試行した大動脈造影から導き出した最適角度 (Perpendicular Angle) と手術中に算出した最適角度をもとにステント留置を施行した角度のずれについて, 2011年1月から8月の間に実施した6症例の結果を示す (表1). 右前斜位方向 (RAO: Right Anterior Oblique) および左前斜位方向 (LAO: Left Anterior Oblique), 頭尾方向 (Cranial) および尾頭方向 (Caudal) それぞれにおいて, 術前に算出した角度と若干のずれが生じた.

表1 術前造影画像と3D再構成画像から求めたステント留置施行角度のずれ

2011年1月～8月に施行した6症例の結果				
	術前造影角度 (AoG)	ステント留置施行角度 (Perpendicular Angle)	ずれ (左右方向) RAO(+)	ずれ (頭尾方向) CRA(+)
Case.1	正面、CAU20	LAO3, CAU29	-3	-9
Case.2	LAO10, CAU15	LAO4, CAU14	+6	+1
Case.3	LAO11, CAU10	LAO22, CAU7	-11	+3
Case.4	LAO10, CAU20	LAO10, CAU11	0	+9
Case.5	LAO15, CAU15	LAO16, CAU9	-1	+6
Case.6	LAO3, CAU22	LAO19, CAU17	-16	+5

- 3) AVI Support プロトタイプ使用に関して, 手術スタッフ6名に5段階評価でのアンケートを施行した. 図7に結果を示す. アンケート結果から, 手術精度の変化, 手術時間の変化, 造影剤使用量の変化に関しては, AVI Support プロトタイプ使用により手術環境が向上したことを確認したが, 一方で満足度は低い結果となった.

また, AVI Support プロトタイプ使用における問題点として, Dyna-CT撮影操作が煩雑である, 体格の大きな患者に対する Dyna-CT撮影は, Cアームと寝台が緩衝

図7 手術施行スタッフによる AVI support プロトタイプ臨床使用評価

する可能性が高い, 時間経過と共に透視画像と3D画像に微妙な位置ずれが生じることがある, という回答を得た.

今後の AVI Support プロトタイプの改善・改良を望む点に関しては, TAVR 以外に大動脈ステントグラフト内挿術への適応拡大, 透視画像と3D画像の位置ずれ補正機能の充実, という回答を得た.

5. 考 察

Dyna-CT撮影時に呼吸停止およびラピッドペーシングを併用することは, 3D再構成画像におけるモーションアーチファクト軽減に結びつき, 冠動脈入口部の描出など画質向上に必須と考える. 造影剤の希釈度は, 冠動脈描出に影響を及ぼすが, TAVRにおいては冠動脈入口部の描出能が重要であり, 3倍希釈でも十分な画像を提供するものと思われる. 3倍希釈 (造影剤使用量 25 mL) で Dyna-CT を撮影することにより, 従来の最適角度を求めるために試行していた大動脈造影 (1回あたり造影剤使用量 20 mL) とほぼ同量で撮影が可能となり, 総造影剤使用量の軽減に繋がる可能性が示唆された.

術前に算出した最適角度と, ステント留置試行角度にずれが生じたのは, 患者の体位の再現性やシース操作に伴う血管のずれが起因するものとする. 実際に手技を試行する直前の状態における最適角度を提供することは, 精度の高いデバイス留置実施には不可欠である. AVI Support プロトタイプ導入前は, 最適角度を算出するために少しずつ角度を変えながら (左

右・頭尾方向に5°ずつ調整など)複数回の大動脈造影を試行していた。しかし, AVI Support プロトタイプ併用で3D撮影を実施することにより, 今まで必要とされていた複数回の大動脈造影は不要となった。

AVI Support プロトタイプを併用することで, デバイスを精度よく留置する環境はアシストされたと考える。しかし, 施行医の満足度を得ることができなかった。このことは, 操作の煩雑さおよび径の太いシース挿入に伴い, 透視画像と3D画像の位置ずれを生じることがあり, 3Dナビゲーション画像の信頼度が低くなることに起因すると考える。数mmの位置ずれが冠動脈閉塞や左心室内へのデバイス迷入などの重篤な合併症を引き起こすリスクを考えると, 位置ずれ補正の精度は今後の大きな課題である。

また, 造影剤希釈度および注入量の下限に関しては, 今後さらなる検討が必要である。造影剤使用量に関して, 各患者の体重および術前CT画像の血管径から算出するなど新たに定量的な設定方法を考慮する必要がある。現在, 3DナビゲーションシステムはTAVRにおいてのみ使用可能であるが, 大動脈弓部領域¹⁷⁾や腹部大動脈領域¹⁸⁾において適応が広がれば, 開窓式ステントグラフト^{19~21)}など新デバイス留置に貢献するもの考える。手術支援システムの進歩は, 低侵襲手術への適応をアシストし, 『変わりゆく手術医療』の一役を担うものとして期待する。

6. 結 論

AVI Support プロトタイプ併用下でTAVRを施行することは, 3Dナビゲーション画像として有用であり, デバイス留置の精度向上に貢献した。Dyna-CT撮影時の呼吸停止, ラビッドペーシングは画質を担保する上で必須であり, 放射線技師, 手術施行医, 麻酔科医の連携が重要である。Dyna-CTを撮影することで, 造影剤使用量を軽減させることが可能となり, TAVR適応患者に多い高齢患者に対して, 術後の腎機能を保つ上でも非常に有用である。一方で, 3Dナビゲーション画像の位置ずれや術

中Dyna-CT撮影に伴う清潔区域の保持など新たな課題も明らかになった。

文 献

- 1) Lindroos M.; Kupari M.; Heikkilä J. et al. Prevalence of aortic valve abnormalities in the elderly: an echocardiographic study of a random population sample. *J Am Coll Cardiol.* 1993, Vol. 21, No. 5, p. 1,220-1,225.
- 2) Bonow RO.; Carabello BA.; Kanu C. et al. ACC/AHA 2006 guidelines for the management of patients with valvular heart disease: a report of the American College of Cardiology/American.
- 3) Association Task Force on Practice Guidelines: developed in collaboration with the Society of Cardiovascular Anesthesiologists: endorsed by the Society for Cardiovascular Angiography and Interventions and the Society of Thoracic Surgeons. *Circulation.* 2006, Vol. 114, No. 5, e84-231.
- 4) O' Neill WW: Predictors of long-term survival after percutaneous aortic valvuloplasty: report of the Mansfield Scientific Balloon Aortic Valvuloplasty Registry. *J Am Coll Cardiol.* 1991, Vol. 17, No. 1, p. 193-198.
- 5) Webb JG.; Chandavimol M.; Thompson CR. et al. Percutaneous aortic valve implantation retrograde from the femoral artery. *Circulation.* 2006 Feb 14, Vol. 113, No. 6, p. 842-850.
- 6) Latsios G.; Gerckens U.; Grube E. Transaortic Transcatheter Aortic Valve Implantation: A Novel Approach for the Truly "No-Access Option" Patients. *Catheterization and Cardiovascular Interventions.* 2010 Jun 1, Vol. 75, No. 7, p. 1,129-1,136.
- 7) Kempfert J.; Rastan AJ.; Beyersdorf F. et al. Trans-apical aortic valve implantation using a new self-expandable bioprosthesis: initial outcomes. *Eur J cardiothorac Surg.* 2011 Nov, Vol. 40, No. 5, p. 1,114-1,119, 20.
- 8) Maeda K.; Kuratani T.; Mizote I. et al. Early

- Experiences of Transcatheter Aortic Valve Replacement in Japan. *Circ J.* 2012 Oct 13.
- 9) Patrick P : TAVR and SAVR: Current Treatment of Aortic Stenosis. *Clin Med Insights Cardiol.* 2012, 6, p. 125-139.
- 10) John M.; Liao R.; Zheng Y. et al. System to Guide Transcatheter Aortic Valve Implantations Based on Interventional C-Arm CT Imaging. *Med Image Comput Comput Assist Interv.* 2010, 13 (Pt. 1), p. 375-382.
- 11) Kempfert J.; Falk V.; Schuler G. et al. Dyna-CT during minimally invasive off-pump transapical aortic valve implantation: step by step. *Ann Thorac Surg.* 2009, 88, 2041
- 12) Maeda K.; Kuratani T.; Torikai K. et al. Transcatheter Aortic Valve Replacement using DynaCT. *J Card Surg.* 2012 Sep, Vol. 27, No. 5, p. 551-553.
- 13) 倉谷 徹. Artis zee TA –より安全な心血管治療環境を目指し, 手術室に導入した先進的ハイブリッドORシステム. *Siemens Future.* 2009, Vol. 17, p. 10-13.
- 14) 東芝メディカルシステムズ(株). “–ハイブリッドシステムが切り開く新たな世界–カテーテルと手術のコラボレーションによるさらなる治療低侵襲化の試み”. 第62回日本胸部外科学会ランチョンセミナー.
http://www.toshiba-medical.co.jp/tmd/library/papers/pdf/xray_091014.pdf
- 15) 柚原正直. ハイブリッド手術室の現状と今後の動向. *医療機器学.* 2011, Vol. 81, No. 4, p. 290-296.
- 16) 柳川康洋. ハイブリッド手術室導入に伴う大動脈ステントグラフト内挿術の手術環境変化. *医療機器学.* 2012, Vol. 82, No. 1, p. 55-61.
- 17) 大木隆生. 編集: 胸部大動脈瘤 ステントグラフト内挿術の実際. 医学書院.
- 18) 大木隆生. 編集: 腹部大動脈瘤 ステントグラフト内挿術の実際. 医学書院.
- 19) 横井良彦. 遠位弓部大動脈瘤に対するステントグラフト内挿術 T.M.U. ステントグラフトシステム “Najuta[®]” におけるデザインと適応. *Vascular Lab* 2009, Vol. 6, No. 2, p. 24-29.
- 20) Kuratani T. The Future Perspective of Endovascular Aortic Repair. *J Jpn Coll Angiol* 2008 ; 48 : p. 293-298.
- 21) Verhoeven EL.; Paraskevas KI.; Oikonomou K. et al. Fenestrated and branched stent-grafts to treat post-dissection chronic aortic aneurysms after initial treatment in the acute setting. 2010 Jun, Vol. 19, No. 3, p. 343-349.