

3Dプリンターを用いた三尖弁模型作成の試み

函館五稜郭病院 医療部放射線科 ○一戸康行・戸根谷正樹
竹内岳・大須田恒一
小林聖子・谷藤貴行
石戸忠雄
同 心臓血管外科 橋一俊・奈良岡秀一

【要旨】

三尖弁形成術の術前検査は主に超音波検査が用いられるが、多くの場合、描出範囲は弁尖・弁輪に限定される。今回、冠動脈CTの手法を応用した希釈造影剤併用撮像法を考案し、三尖弁複合体を適切な濃度コントラストで描出する方法を確立した。さらに、画像処理により得られた立体データをもとに3Dプリンターを用いて三尖弁複合体の実物大立体模型を作成したので報告する。

【キーワード】：三尖弁形成術、希釈造影剤併用心臓CT、3Dプリンター、臓器実物大立体模型

【背景】

心臓弁膜症の術前検査では、低侵襲で時間分解能に優れる超音波検査が第一選択となる。しかし、三尖弁は胸骨に近接し、且つ食道から離れた位置にあるため、経胸壁および経食道超音波検査で乳頭筋を含めた三尖弁複合体を描出することは困難な場合が多い。

一方、320列CTを用いた心臓CT撮影は心電図同期下で心臓全体を撮像し、後処理にて任意の心位相で画像を再構成することができる。さらに、三次元処理したデータをもとに実物大立体模型を成型すれば実際に手に取って観察することも可能になる。術前に三尖弁複合体の立体構造を詳細に評価できた場合、手技の安全性向上に大きく寄与するものと考えられる。

【目的】

三尖弁形成術術前検査において執刀医は二次元画像から立体構造を認識し、評価している。しかし、開心術中（心停止下）の心筋の緊張状態は心拍動下とは異なり、三尖弁複合体の形状は生理的ではなくなるため、心拍動下の弁形態を推測しながら弁形成術を行う必要がある。三尖弁複合体の立体構造の事前把握に貢献し手術手技の安全性向上に寄与するため、三次元画像及び実物大立体模型を提示する。

【対象】

2018年10月から11月の間に当院で三尖弁形成術を施行した症例で、著しく心拍数の高い症例や息止め不良の症例は除外し、モーションアーチファクトの影響を受けずに撮像し得た3例を対象とした。

【方法】

右心房及び右心室内のCT値を均一に上昇させるため、冠動脈CT検査で採用しているTest Bolus Tracking (TBT) 法¹⁾を改変して造影剤と生理食塩水の希釈注入を追加する希釈造影剤併用TBT法を構築した(図1)。下記に実物大模型を示す症例の各注入量は造影剤使用量51ml+生理食塩水24ml、注入速度は3.6ml/secであった。心電図同期下でR波をトリガーとして1心拍分撮像した後、拡張期及び収縮期にて画像を再構成した(図2)。画像処理ワークステーションを用いて弁尖・弁輪部及び乳頭筋の三次元処理を行い(図3)、3Dプリンター用のStandard Triangulated Language形式(STL形)データに変換した。3Dプリンターの編集ソフト上でSTLデータから再度三次元構築を行い、実物大模型を成型した(図4,5)。

【使用機器】

CT装置：Aquilion ONE TSX-301A/2A（キャノンメディカルシステムズ）
造影剤自動注入器：Dual Shot GX-7（株式会社根本杏林堂）
画像処理ワークステーション：Zaiostation2（アミン株式会社）
3Dプリンター：Creatr HS（Leapfrog社）
模型素材：Verbatim PLA Filament（三菱化学メディア株式会社）

【結果】

希釈造影剤併用TBT法で撮像した画像は、右心房及び右心室内のCT値が均一に200HU程度まで上昇していた。

十分な濃度コントラストが得られていたため弁尖・弁輪部及び乳頭筋は血液と鮮明に区別され、造型した実物大模型は弁尖・弁輪部及び右心室内腔を明瞭に描出できていた(図2)。造型に要した時間は心臓全体模型で約45時間、造型範囲を三尖弁複合体領域に限定した模型で約4時間程度、材料費はそれぞれ約1,500円と約150円であった。

【考察】

三次元画像処理において三尖弁の弁尖・弁輪部及び乳頭筋の輪郭を明瞭に描出するためには、造影効果の不均一やストリークアーチファクトの無い状態で、且つ右心房及び右心室内腔のCT値が均一に上昇していることが望ましい。本検討で用いた希釈造影剤併用TBT法は全症例で右心房及び右心室内腔を均一に200HU程度上昇させており、十分な造影効果が得られたと考える。一方、左心室の造影効果には影響を与えておらず、冠動脈内腔評価に支障は無い。また、実物大模型の完成度を低下させる要因として心拍動によるモーションアーチファクトが挙げられる。当院のCT装置では時間分解能の都合上心拍数を60bpm程度までコントロールして撮像する必要がある。加えて、左室駆出率が著しく低い場合など体内で造影剤のボーラス性を維持できない症例では造影剤注入量や注入時間の調整が求められる。本症例には心房細動の基礎疾患があるが、造影効果や撮像タイミングに影響は無かったと考える。

本検討で用いた骨模型用の硬い素材は形状維持や耐熱性に優れ、実寸の計測も容易であるが、臓器の質感は再現出来ないため模擬手術等のシミュレーションには向かない。切開・縫合等の手技シミュレーションには、柔らかい素材を用いて造型する必要がある。本検討における三尖弁複合体実物大模型の造型時間は拡張

期模型・収縮期模型合わせて約8時間であり、手術直前の評価も可能であると考ええる。

【結語】

CTデータを用いて三尖弁複合体の実物大模型を造型する手法を検討した。希釈造影剤併用心臓CTは細部まで明瞭に描出された実物大模型の造型を実現し、三尖弁複合体の立体構造把握に有用であると考ええる。

【本論文内容に関連する著者の利益相反】

開示すべき利益相反は無い。

【引用文献】

- 1) 山口隆義, 高橋大地: 新しい造影方法であるtest bolus tracking法の開発と, 冠状動脈CT造影検査における有用性について. 日本放射線技術学会雑誌; No. 251, 2009
- 2) Yamaguchi T et al; A New Contrast Enhancement Protocol for Subtraction Coronary Computed Tomography Requiring a Short Breath-Holding Time. Acad Radiol. 2017 Jan;24(1):38-44.
- 3) van Rosendael PJ, Joyce E et al; Tricuspid valve remodelling in functional tricuspid regurgitation: multidetector row computed tomography insights. Eur Heart J Cardiovasc Imaging. 2016 Jan;17(1):96-105.
- 4) Denisa Murarul, Federico Veronesi et al; 3D printing of normal and pathologic tricuspid valves from transthoracic 3D echocardiography data sets. Eur Heart J Cardiovasc Imaging. 2017 Jul 1;18(7):802-808

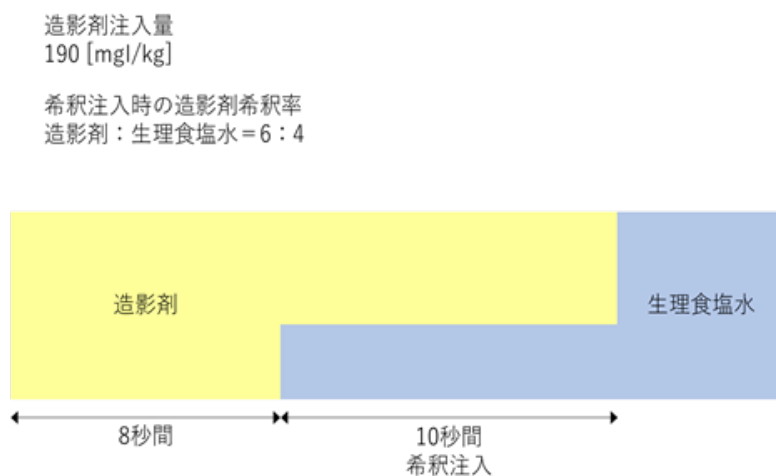


図1 希釈造影剤併用 TBT 法の注入条件

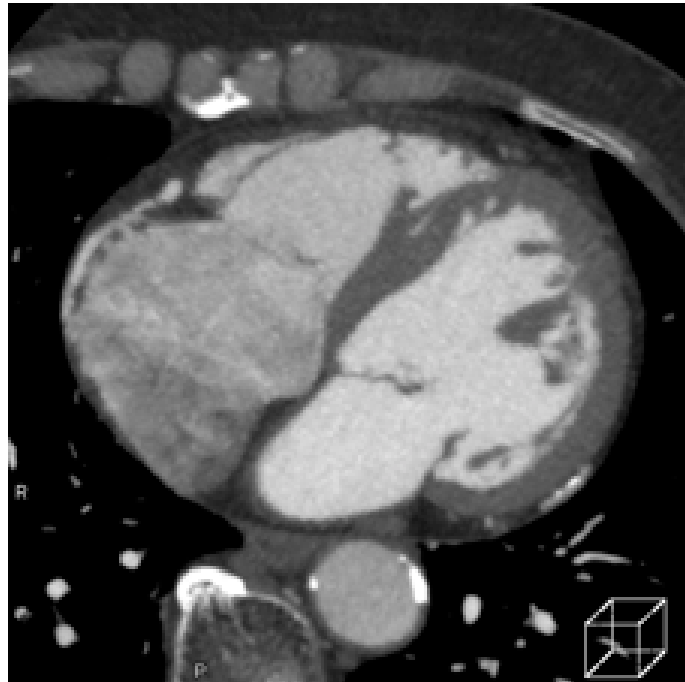


図2 希釈造影剤併用 TBT にて撮影後、再構成した三尖弁レベルの水平断面画像

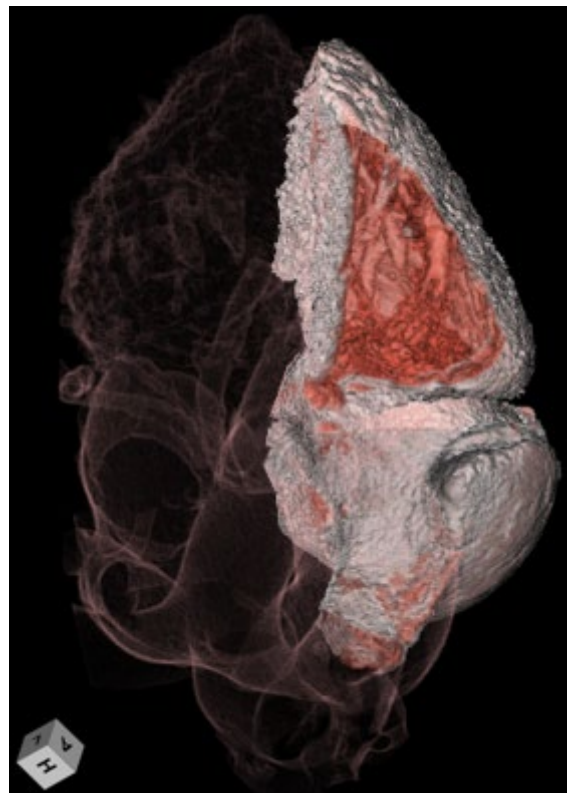


図3 三尖弁複合体の三次元処理画像



図4 三尖弁複合体の実物大模型(拡張期)

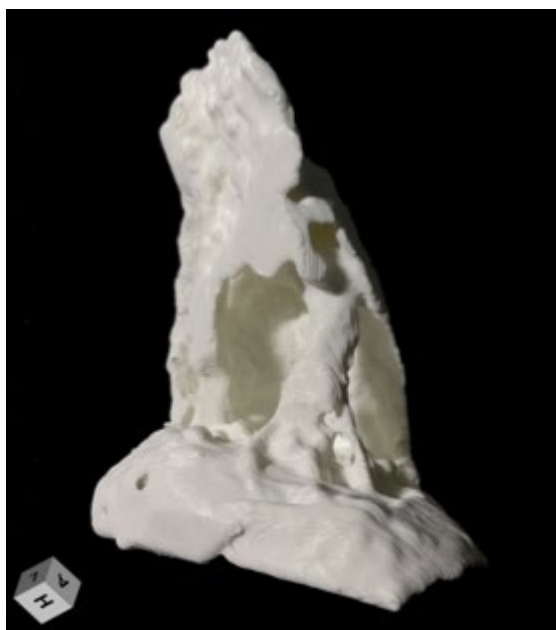


図5 三尖弁複合体の実物大模型(収縮期)