

体内埋め込み式人工心臓の解剖学的適合性に関する研究

Evaluation of the anatomical compatibility for an implantable artificial heart

○ 茂木諒介(電機大) 住倉博仁(国循) 大沼健太郎(国循) 巽英介(国循)

福井康裕(電機大) 大越康晴(電機大) 荒船龍彦(電機大) 本間章彦(電機大)

Ryosuke MOTEGI, Graduate School of Tokyo Denki University
 Akihiko HOMMA, Graduate School of Tokyo Denki University
 Hirohito SUMIKURA, National Cerebral and Cardiovascular Center
 Kentaro ONUMA, National Cerebral and Cardiovascular Center
 Eisuke TATSUMI, National Cerebral and Cardiovascular Center
 Yasuhiro HUKUI, Graduate School of Tokyo Denki University
 Yasuharu OGOE, Graduate School of Tokyo Denki University
 Tatsuhiko ARAFUNE, Graduate School of Tokyo Denki University

Abstract: It is very important that preoperative simulation for the safety of implant artificial heart surgery. For solving this clinical issue, we developed 3D image simulation software and evaluated it. This software has the function to display three-dimensional human model built from a patient CT images and VAD model in same coordinate system, to translate or rotate VAD and to measure distance between arbitrary two points and angle between arbitrary two vectors. Display speed and memory consumption were 2223.00 ± 90.77 [ms] (n=5) and 351.65 ± 28.94 [MB] (n=5) for 439 slices of CT images. In conditions, this program can support preoperative simulation for the safety of implant artificial heart surgery.

Key Words: Artificial Heart, Preoperational evaluation, Anatomical Compatibility

1. 背景

重症心不全の治療方法として心臓移植がある。しかし、日本においては重症心不全患者全員を心臓移植によって治療するのは難しい。このため、心臓移植の代わりに全人工心臓の使用が検討されており、また、移植までの待機の間は補助人工心臓を使用して元の心臓の補助を行っている。

人工心臓を患者に安全に適用するためには、埋込みシミュレーションなどにより、術前に解剖学的適合性に関する検討を患者ごとに詳細に検討ができることが望ましい。

黒沢ら⁽¹⁾は全人工心臓の駆動ユニットについて、周辺臓器への圧迫をシミュレーションする技術の確立を行い、人工心臓の最適な埋め込み位置の検討や人工心臓の解剖学的適合性に基づく改良の支援機能を行えるようにした。また、同じ術前検討を行うソフトウェアとして、DENTSPLY Implants社のSIMPLANT⁽²⁾が既に製品としてある。しかし、黒沢らの研究は可視化ツールAvizoのプラグインとして実装されているためAvizoを購入する必要がある。また、SIMPLANTは歯科用インプラントを対象としているため、人体モデルは骨のみの表示となっており、人工心臓の埋め込みに評価には適さない。

2. 目的

本研究では、視覚的に理解でき、かつ距離や角度の測定することで解剖学的適合性の評価の支援ができる人工心臓埋込みの術前検討の支援プログラムの開発を目的とする。

3. 本研究の対象

人工心臓には、全人工心臓と補助人工心臓が存在する。本研究においてはそのどちらも対象とするが、それらのアクチュエータや脱血管なども含めた全システムのうち、最も解剖学的適合性の検討が必要と考えられるポンプのハウジングを対象とした。

4. 解剖学的適合性評価支援プログラム

本プログラムでは、視覚的に理解でき、かつ距離や角度

の測定することで解剖学的適合性の評価の支援するために、以下の機能の作成を行った。

埋め込み状態の評価支援機能(計測機能)

- ① 3次元上の2点間の距離の計測
- ② 3次元上の2つのベクトルのなす角度の計測

視覚的機能

- ① 人工心臓の3D CADデータ表示機能
- ② 人工心臓モデルの移動、回転機能
- ③ 人体モデルの3D再構築、表示機能
- ④ 人体モデルを3D表示する際のCT値の閾値を変えて可視化する臓器を選択できる機能
- ⑤ 人体モデルのスライスデータを3次元上に重ねて表示
- ⑥ 視点の変更機能

患者のCT画像(DICOMデータ)から作成した人体モデルと人工心臓モデル(STLデータ)をコンピュータの3次元座標上に構築し、各モデルの3次元合成表示、視点の移動、人工心臓モデルの移動、回転を行う視覚機能、3次元上で指定した距離と角度を計測する測定機能を作成した。

5. プログラムの評価

作成した機能を以下のように評価した。

5-1 埋め込み状態の評価支援機能(計測機能)

人体モデルが本来の寸法で構築されていると仮定し、距離測定機能の確認を行った。また、Fig. 1に示すような角柱のリファレンスモデルを使用し、リファレンスモデルによる既知の角度と測定値が一致するかについて確認を行った。

5-2 視覚的機能

Fig. 2に示すような一辺が100mmのリファレンスモデルを別途CADで作成し、読み込み寸法、移動距離、回転角度の正確性、マウス操作による視点移動について動作確認

を行った。また、プログラムが一般的な環境で動作するかどうかを確認するため、CT画像データ(439枚)と人工心臓データの読み込み時間と消費メモリの測定を行った。

また、実行環境を Table 1 に示す。

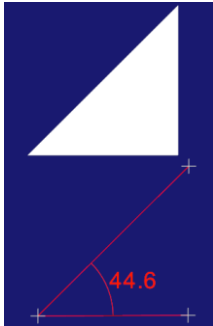


Fig. 1 Reference Model for angle measurement. This model is trigonal prismatic.

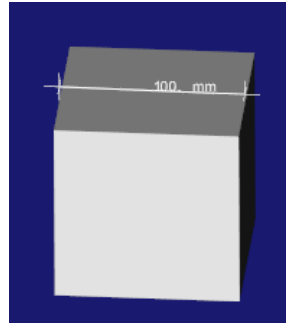


Fig. 2 Reference Model for distance measurement. This model is cubic.

Table 1 Execution environment

| | |
|---|-------------------------|
| Computer Model | Dell Precision T7610 |
| CPU Model | Intel Xenon CPU E5-2360 |
| Clock frequency of the CPU [GHz] | 2.60 |
| RAM size[GB] | 32.0 |
| number of trials [times] | 5 |
| The number of the slice of CT data [slices] | 439 |

6. 結果

プログラムのインターフェースを Fig.3 に示す。距離測定機能の評価結果を Table 2 に、角度測定機能の評価結果を Table 3 に示す。Table 4 に CAD モデルの寸法の確認のために立方体リファレンスモデルの一边の長さを測定した結果を示す。また、Table5 に CT 画像データ(439枚)と人工心臓データの読み込み時間と消費メモリの計測結果を示す。

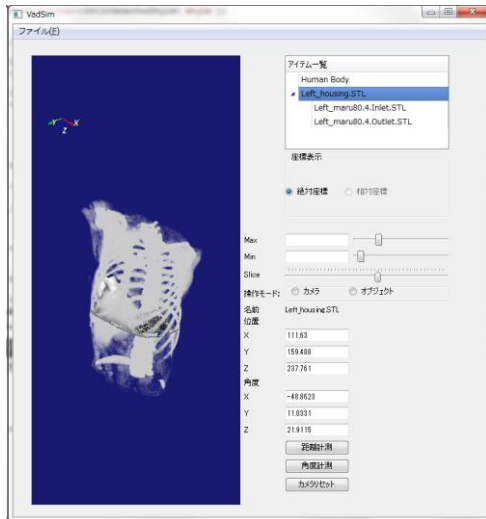


Fig. 3 Software interface

Table 2 Height of human body model (n=5)

| | | |
|--------------------------------------|------------------|----------------------------|
| CT data photography information [mm] | Measurement [mm] | Average relative error [%] |
| 422.235901 | 421.8±2.2 | 0.25 |

Table 3 The angle that the side of the cube model (n=5)

| | | |
|---------------------------|-------------------|----------------------------|
| Design value in CAD [deg] | Measurement [deg] | Average relative error [%] |
| 45.00 | 44.80±0.57 | 0.25 |

Table 4 Length of a side of the cube model (n=5)

| | | |
|--------------------------|------------------|----------------------------|
| Design value in CAD [mm] | Measurement [mm] | Average relative error [%] |
| 100.00 | 100.1±0.97 | 0.26 |

Table 5 CT image data (439 slices), loading time for artificial heart data and memory consumption(n=5)

| | | |
|-------------------------|-----------------------|-----------------------------|
| | CT image data (DICOM) | Artificial heart data (STL) |
| loading time [ms] | 2223.00±90.77 | 89.40±7.02 |
| memory consumption [kB] | 351645.60±28940.16 | 19280.00±2800.58 |

7. 考察

7-1 埋め込み状態の評価支援機能(計測機能)

距離計測機能については Table 2 から、角度の計測機能については Table 3 から誤差率 0.5[%]未満と小さかったため、両機能とも正しく動作していることが確認できた。誤差の原因としては、手動で距離の測定を行ったためだと考えられる。

7-2 視覚的機能

Table 4 から、計測した CAD モデルの大きさは元のデータと 0.26[%]しか誤差がないことから、CAD データを元の寸法のまま読み込んでいることが確認できた。また、Table 5 から、3 秒以内に読み込みが完了し、メモリ消費も 400[MB]以内であることから、本プログラムが実行速度およびメモリ消費は実用に耐えるものがあることが確認できた。

以上より、人工心臓の解剖学的適合性の術前検討に必要な機能が作成できたことを確認できた。

8. 結論

人工心臓埋込みの術前検討を支援するプログラムの開発を行い、その性能評価を行った。人工心臓モデルと人体モデルの 3 次元合成表示機能と計測機能が実現でき、実行速度とメモリ消費も実用に耐えるものがあることが確認できた。今後、本プログラムによる人工心臓の解剖学的適合性に関する十分な検討が期待される。

参考文献

- (1) 黒澤雄,福井康裕,本間章彦,住倉博仁,大沼健太郎,巽英介,妙中義之,電気学会研究会資料. LD, リニアドライブ研究会 no.34, pp. 13-16, 2009
- (2) SIMPLANT®によるコンピューター・ガイドド・インプラント治療, available from: <http://www.dentsplyimplants.jp/Digital-solutions/Disco-ver-SIMPLANT/SIMPLANT-software>