

心臓外科における診断支援および術後の 予後予測用手術支援AIの開発

申請代表者：佐藤生馬（公立はこだて未来大学）

1. 背景および目的

心臓弁膜症は、心臓の4つの弁のいずれかに異常が生じる疾患であり、重症例では外科的治療が行われ特に弁形成術はQoLの向上が期待されている。心臓弁膜症を発症すると息切れ、むくみ、疲労感、胸の痛みなどの症状が発生し、弁腱索が伸びたりした場合に心臓が異常な形態へリモデリングする。弁形成術では弁腱索が伸びたりして心臓が異常な形態へリモデリングした場合に、患者自身の弁を温存するために人工腱索という糸を使用して弁を修復する。弁形成術を行うことによる弁の修復によって心臓は正常な形状にリバースリモデリングする。リバースリモデリングは執刀医の熟練の知識と経験が必要で高い専門性が求められる暗黙知に依存している。

弁形成術では、弁の再建距離や術後の正常なリバースリモデリングの予測が求められる。術後の経過・結果評価には超音波診断装置や4D CTを使用し、心臓の一部の組織間の距離を計測することによって形態を評価している。しかし、患者の術前および術後の三次元形状や動作が評価されておらず、術後の4D CTから熟練医の手術結果や暗黙知が解析されていないという課題がある。そこで、術前から術後数か月の4D CTを統合し、心臓全体の形状と動作の変異を可視化する。統合した過去症例を新たな症例に投影することによって術後の形状予測を行う。医師の予測に基づく処置結果を明確化し、新たな症例の術後予測ができると考えられる。

我々は熟練の医師の知識と経験が必要であった心臓外科における診断支援および術後の状態や形態変化の予測を可能とするAIを開発する。このAIを使用することにより、術前の診断支援や術後の予後を予測した手術プラン支援および、術後の治療経過や結果評価を実現することで、手術の質を

向上させ、患者のQoLの向上を目指す。本研究では、過去症例の術前後の4D CTの統合による手術結果の可視化と手術対象患者の術後形状予測手法の提案を行ったので報告する。

2. 術前術後の画像統合における治療経過・結果の可視化

本手法は、術前から術後数か月にわたって取得した 4D CT 画像を統合し、治療経過および治療結果を可視化する枠組みを構築した（図 1）。まず、個々の 4D CT 画像に対してセマンティックセグメンテーションを実施し、心臓を構成する各組織を抽出する。次に、個体差が比較的小さい大動脈弁を基準構造として選択し、基準構造間で剛体レジストレーションを行うことにより、術前・術後画像を同一座標系に統合する（図 2）。これにより、術前から術後数か月に至るまでの心形態変化を時系列に沿って一貫して観察でき、治療効果を定量的に評価することが可能となる。

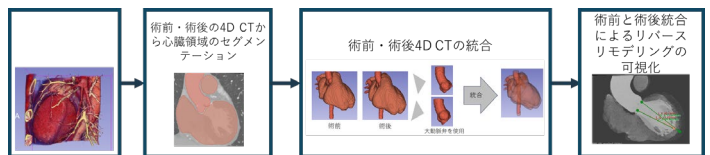


図1 治療経過・結果の可視化手法の概観

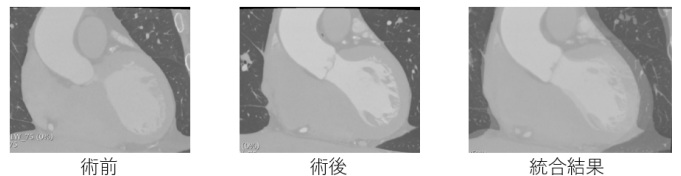


図2 術前と術後の画像統合の概観

本手法による統合結果の解析では、組織の移動方向と大きさをベクトルで可視化した。心臓組織のうち左心室を選択し、術前と術後 1 週間および術前と術後 6 か月の 20 ボリュームを用いて解析した。統合解析の結果、左心室における大きさは 7mm

収縮したことが確認された。さらに、統合結果を基に変位ベクトルを可視化することで、術後の心臓リモデリングによる形態的変化を視覚的に確認可能とした。

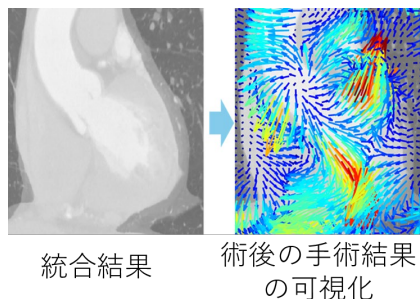


図3 術前・術後画像統合による手術結果の可視化

3. 過去症例の4D CTを用いた術後形状予測

治療経過および結果を可視化した過去症例を新規手術予定患者へ適用することで、術後形状の予測可能とする。予測する対象症例に対してもセマンティックセグメンテーションを適用し、心臓組織を抽出する。過去症例群と新規症例の大動脈弁を共通基準として剛体レジストレーションを施し、全データを同一座標系へ粗く整合させる。続いて、心臓領域に対し非剛体レジストレーションを適用し、個々の形態差を補正しながら精緻な位置合わせを実現する。得られた変形場を用いて、新規症例の術前4D CTに過去症例の術後形態をマッピングすることで、術後数か月後の心臓形状を推定できる。本枠組みにより、過去症例の知見を新規症例へ投影し、個別化された術後形態予測を実現する。

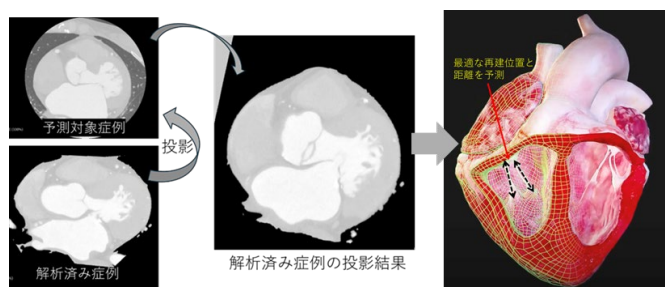


図4 術後予測手法の概観

本手法の妥当性を評価するために、過去症例2症例に対して本手法を用いて投影と比較を行った。評価方法として、過去の2症例の術後画像を対象として、左心室内の大動脈弁周辺と心尖部の特徴

点間の距離の比較により術後予測による差異を評価した。2症例の術後画像の特徴点間の距離を比較した結果、誤差は約5mmであることが確認することができた。定量的な誤差が小さいことから、予測形状と実際の術後形状は大きく乖離していないことが示された。

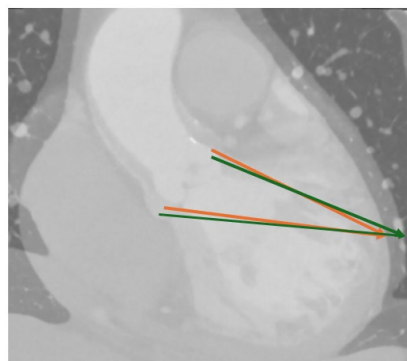


図5 術後予測結果

得られた結果から、本手法が術後形状の予測において一定の有効性を有したと考えられる。2症例の特徴点の距離の比較の結果、誤差は約5mmであり臨床的にも高精度な予測ができたと考えられる。高精度な予測ができたことから、本手法における術後の形状予測の実用性を期待することができた。しかし、症例数が少ないことから汎用性の確認にはいまだ至っていない。今後は、対象症例を増加させた際の誤差の確認とともに、予測精度向上に向けたアルゴリズムの改良を行っていく。

4. 結語

本研究では、過去症例の術前後の4D CTの統合による手術結果の可視化と過去症例の統合した画像を新たな症例に投影しによる手術対象患者の術後形状予測手法の提案を行った。本手法の評価として、過去2症例の術後画像における特徴点間の距離を比較した結果、予測形状と実際の術後形状との誤差は約5mmであり、大きな乖離がないことが示された。本手法が新たな症例の術後形状予測における支援の手段となる可能性が示唆された。今後は、症例数を増やし汎用性と高めていくとともに、投影時のアルゴリズムの改良をすることでより高精度な予測を実現し、社会実装を行う。