

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 28 日現在

機関番号：32612

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2014

課題番号：25750165

研究課題名(和文)心嚢内視鏡3次元マッピングによるカテーテルアブレーション技術開発

研究課題名(英文)Development of a pericardial endoscopy-guided catheter ablation system

研究代表者

木村 雄弘(Kimura, Takehiro)

慶應義塾大学・医学部・特任助教

研究者番号：20449002

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は我々の心嚢内視鏡技術により得られた画像を3次元マッピング情報として付加した新たなカテーテルアブレーションガイド法を可能にすることを目的としたものである。

心臓モデルの周囲から撮像した画像をCADデータに構築し、3Dプリンターで再現することに成功した。これらを心嚢内視鏡に搭載すべく、内視鏡サイズ、侵襲度、解像度など様々な条件で最も適した仕様を検討した。イヌを用いた急性期慢性期検討では特記すべき合併症を認めなかった。画像解析時に必要な構造識別のための解剖学的特徴を検討し、狭い心嚢腔での心臓全体を撮像することを課題とし、現行の3次元マッピングシステムへの統合へ向けて今後も開発を行う。

研究成果の概要(英文)：This study was undertaken to develop a new modality of catheter ablation using the three-dimensional mapping data obtained from our pericardial endoscopic technology.

Images filmed from the entire periphery of a cardiac model, which were converted to CAD data, were successfully printed out with a three-dimensional printer. We examined the proper condition for equipping this technology with our pericardial endoscopic maneuver regarding the size of the endoscopy, invasiveness, and resolution. In a canine experimental model, there were no major acute or chronic complications. Hereafter, we will focus on issues of the anatomical characteristics for the image analysis and its adaptability for capturing the whole image of the heart in the narrow pericardial space. We hope we can develop this technology as a pericardial endoscopy-guided catheter ablation system.

研究分野：循環器内科

キーワード：心嚢内視鏡 3次元マッピング カテーテルアブレーション 低侵襲治療

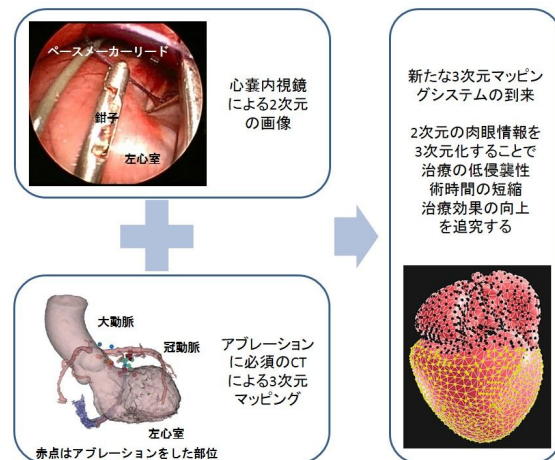
1. 研究開始当初の背景

循環器医療は様々な血管内アプローチ手法により発展を遂げた。不整脈の根治治療としてのカテーテルアブレーションが可能になったのがその例である。しかしながら、心外膜からのカテーテルアブレーションは解剖学的情報に乏しく、表面の脂肪組織の有無、瘢痕組織の場所、冠動脈の走行などを認識しながら治療することはできない。従って有効な治療ができないことや、心筋梗塞などの致命的合併症を併発してしまうことが問題点として挙げられる。もし、心外膜側へのアプローチにおいて、肉眼的な解剖学的特徴を把握することができれば、これらの問題点を改善でき、治療成績の向上や合併症予防のために貢献できることは容易に想像できる。しかし、現代の医療ではそれには開胸手術を伴う。こうした致死性不整脈患者への開胸手術は侵襲が大きすぎて適応とならず適応とならない場合があるというのが現状である。

そこで、これまでに我々は「心嚢内視鏡手術」という低侵襲に心嚢腔に到達する手術方法を考案し、動物実験により細胞移植や既存のペースメーカーリードの植込みにおけるその安全性と有効性を示してきた(Kimura et.al; J Thorac Cardiovasc Surg. 2011 Jul;142(1):181-90.)。ブタを用い、セルディンガー法で心嚢腔に到達し、様々な素材・長さ・形状のシースや経鼻・腎盂尿管用などの内視鏡、鉗子を組み合わせ使用し、心嚢内視鏡手術のプロトタイプを作成した。また、安全性の評価、有効性の向上のため、デバイス改良を行った。この技術を応用し、心嚢腔内の内視鏡画像を心外膜のカテーテルアブレーションに取り入れることができれば、肉眼情報が電位情報に加わることになり手術成績の向上、安全性の担保に貢献できると考えられる。

2. 研究の目的

不整脈の根治療法であるカテーテルアブレーションは不整脈の起源を熱で焼灼する治療である。心外膜に不整脈の原因がある場合には心外膜側からのアプローチが必要となる。しかし、X線や現代の3次元マッピング装置では表面構造を完全に把握することができないため、冠動脈損傷による心筋梗塞合併症や脂肪組織などの障壁により治療が困難などの問題もある。そこで、我々がこれまでに開発を行ってきた心嚢内視鏡手技によって得られた肉眼的情報を付加することで、安全で効率的な”心嚢内視鏡肉眼的ガイド下カテーテルアブレーション”を可能にすることを目的とする。



現在の3次元マッピングシステムは磁場を利用してカテーテルを画面に表示し、事前に撮影したCT画像を元にカテーテル操作を行う。しかしながらCT画像から構築した3次元ジオメトリには冠動脈の細い枝や脂肪組織の情報は反映されない。そこで、心嚢内視鏡を併用することにより肉眼的な情報を現在の3次元マッピング装置に搭載し、さらに安全で効率的なカテーテルガイドを確立する事が可能となる。こうした心嚢内視鏡による心臓表面の3次元ジオメトリの構築は、今後の不整脈治療の技術を飛躍的に開拓し、治療成績の向上に貢献できると考えられる。

3. 研究の方法

内視鏡画像の2次元データを3次元に構築するための技術を集約し、これまでの心臓内視鏡技術に搭載するために最も適した必要要件を検討した。現行の3次元情報取得の方法の仕様調査を行った。現在、建築・土木現場における測量や文化財、プラント、工業製品の形状計測など、多くの分野で寸法や形状の非接触での計測で利用されている。しかしながら内視鏡の光学的問題を回避して先端構造をデザインするには多額の費用工数を要するため、全てを検討することはできない。そこで、内視鏡の光学的問題への取り組みを踏まえた最適な要件決定を行った。さらにこれらのサイズ、侵襲度、解像度、精度などに関して評価を行い、実際に大型動物を用いたデータ取得を行った。取得データは既存の3次元マッピングシステムへの搭載を前提とした評価を行った。

4. 研究成果

接触して構造物の3次元情報を得ることはそれほど難しいことではないが、非接触でいかにこれを実現するかという技術にはいくつかの方法がある。家電量販店で販売されている3Dカメラはレンズが2つついたものが多く、視点を変えることで物体の3次元情報を得ようとする物である。これを内視鏡に応用するためには、複数本の内視鏡、あるいは内視鏡のヘッド部分を分岐させる構造になり、結果的に侵襲度をあげてしまうことになる。第2の方法として写真を撮像したカメラの位置情報を元に、撮像した画像を3次元構築する方法がある。物理的には既存の内視鏡構造で実現可能だが、内視鏡の位置情報を得るための仕組みの検討が必要であった。腸管内視鏡用に内視鏡の位置情報を得るモジュールが販売されているが、心臓の数mm単位の誤差を実現する物は現状で存在しなかった。そこで、硬性鏡を用い、Vicon社などから販売されているモーションキャプチャ技術を応

用し、内視鏡の位置情報を算出するデモを行った。これにより内視鏡の位置情報、画像から3次元画像を一部算出できる可能性が考えられた。しかし、手術室に固定のカメラを数台設置し、それを遮らないように手術操作を継続しなければならない。歯科領域など、術者が少数な手術室ではこれらを利用したシミュレーション技術が確立しようとしているが、循環器領域の煩雑とした手術室で現実的に困難と判断した。またモーションキャプチャ装置も数千万円の予算を必要とし、本研究期間内での実現は困難であった。

モーションキャプチャシステム導入の検討



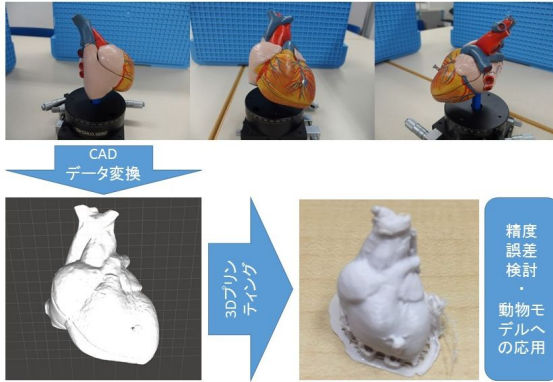
また、慶應義塾大学理工学部との共同作業で、スリット状のレーザー光を照射し、これの歪みを元に、3次元情報を構築する方法も試みた。現段階では実験段階であり、今後も共同で研究していくこととした。

レーザー装置 開胸モデルでの照射 心臓表面へのレーザー照射



そこで、様々な方面から同一対象物を撮像し、それから3次元情報を得る方法を採用した。それぞれの写真から同一と思われる特徴となるピクセルを抽出し、それを3次元的に再構成することで、物体の3次元構造を再現しようという技術である。これを用い、まず、心臓モデルを360度周囲から内視鏡で撮像し、3次元化しCADデータに構築した。細部にわたり、非接触で対象モデルの再構築することに成功した。モニタ画面での細部の評価が困難であったため、0.1mmの精度の3Dプリンターで印刷し、印刷物がオリジナルの物体と質感以外の点でほぼ遜色なく再現できた事を確認した。

心臓モデルの360度周囲からの撮像



また実際の診療では患者個人の心臓 CT 画像を用いてカテーテルアブレーションを行うため、CT 画像も同様に 3D プリンティングする技術に応用した。さらにこれらを我々の内視鏡手術技術に搭載すべく、内視鏡サイズ、解像度など様々な条件で最も適した仕様を検討した。結果、内視鏡のサイズは現状で検討している心臓内視鏡臨床応用モデルで利用可能であり、解像度も CCD カメラ搭載モデルの内視鏡では問題ないことを確認した。

動物モデルでの安全性、有効性評価を行った。麻酔したイヌを用いて、心臓の内視鏡画像を撮像し、急性期は主に血行動態をモニターし、慢性期は心膜の癒着の程度、心機能への影響を心臓超音波検査、病理学的検査により評価したが、特記すべき合併症を認めなかった。また、可視化した心臓画像の誤差について、剖検結果と比較して解析を行う予定であったが、3次元化した情報のスケールリングは容易であるため、既知のサイズの物をあらかじめ測定しておくことで正規化し、撮像データの誤差は最小限にできることを確認した。動物モデルと心臓モデルでの相違点として、画像解析時に必要な構造識別のための解剖学的特徴が少ない事、狭い心臓腔で全周性に心臓を撮像することが困難な事があり、今後の課題として検討することとした。これらの課題を解決し、現行の3次元マッピングシステムへの統合へ向けて今後も開発を継続する予定とした。

5. 主な発表論文等

なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

木村雄弘 (TAKEHIRO KIMURA)

慶應義塾大学・医学部・特任助教

研究者番号：20449002