

令和 4 年 6 月 7 日現在

機関番号：24402

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18K08741

研究課題名(和文)小切開弁膜症手術における3D計測技術を応用したシミュレーションシステムの開発

研究課題名(英文)Simulation system using 3D measurement technology in minimally invasive cardiac surgery

研究代表者

柴田 利彦(Toshihiko, Shibata)

大阪市立大学・大学院医学研究科・教授

研究者番号：10260803

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：近年、小切開心臓手術(3D内視鏡支援あるいはロボット支援手術)が用いられる。左右のカメラで撮影した画像により術者は奥行きのある立体画像を見て手術を行う。左右カメラから得られた視差情報を用いて三角測定法により長さ・奥行き測定が可能となる。本研究ではブタ心臓上の僧帽弁輪上の3点に色素で点墨し、分光反射率を利用して3基準点を認識させた。この3点間距離を画像上で三角測定法により測定し、相応するサイズの人工弁輪画像を僧帽弁上に投影した。従来ではサイザーを直接僧帽弁上に当て行っていたサイジング操作を、モニター画像上で行うことが可能となった。さらに、僧帽弁輪全体の面積の測定にも応用した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年、ロボット手術や3D内視鏡支援手術が増加の一途をたどっている。これは従来の2D画像に比べ奥行きを認識できるため、より精細な手術が可能となる。単に立体視画像を見るだけではなく、両眼視差を利用することにより、長さ・奥行き・面積を測定することができると考え本研究を進めた。まず、基準となる点を自動的に認識するためには、色素による定点認識技術が必要であり、白色LED照射による実験ではこれが可能であった。この成果を臨床応用することにより、心臓以外の領域でのロボット支援手術における様々なアプリケーション開発に寄与できると思われる。

研究成果の概要(英文)：Small incision cardiac surgery using 3D endoscopy-assisted or robot-assisted surgery has been developed. The images taken by the left and right cameras allow the surgeon to see a three-dimensional image with depth during surgery. Using the parallax information obtained from the left and right cameras, length and depth can be measured by the triangulation method. In this study, three points on the mitral valve annulus on the pig heart were plotted with violet ink and the three reference points were recognized using spectral reflectance. The distance between the three points was measured on the image using the triangulation method, and a virtual simulated prosthetic ring image of the corresponding size was projected onto the pig mitral valve. Sizing works that were traditionally performed by applying a rigid sizer directly on the mitral valve can now be performed on the monitor image. This technique was applied to the measurement of the area of the entire mitral annulus.

研究分野：心臓血管外科

キーワード：弁膜症 低侵襲手術 3D計測 バーチャルシミュレーション

1. 研究開始当初の背景

内視鏡技術の進歩により将来は3D画像への移行することが予想される。近年、小切開低侵襲心臓手術が増加している。小さな創部からの両眼立体視が困難となるため、我々は3D内視鏡を用いて立体モニター画像での手術を行っていった。そこで、この左右眼の3D画像を用いて三角測定法による術中3D計測を行うことを考えた。心臓手術において術中3D画像を用いた計測技術を手術シミュレーションに応用した報告はない。

2. 研究の目的

3D画像は2つのカメラ画像を合成して画像を立体化するが、作像のみならず計測に用いることが本研究の目的である。また、CT画像などとのフュージョンにより術前シミュレーション技術に応用することを目指す。

複眼カメラシステムを用いて3D計測を行うが、その際に色調別フィルターをかけることにより計測指標となる点を抽出する。これにより3D計測を行う定点の同定が可能となる。三角測定法により算出された測定値をもとに選択したサイズのデバイス(人工弁輪等)のAR(augmented reality:拡張現実)表示画像を臓器画像(あるいは術中画像)とスーパーイン

ポーズするという手法を用いて手術シミュレーションの構築を目指す。この成果は小切開心臓弁膜症手術の精度向上の一助となり、ロボット手術などの3D環境下手術に応用できると考えた。

3. 研究の方法

複眼レンズカメラで撮影し、両眼の視差を利用した三角測定法から長さの測定を行った。

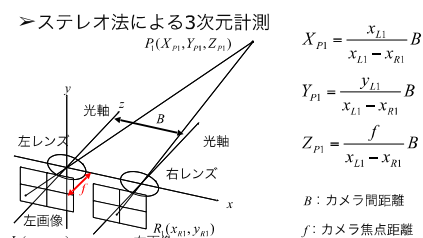
(1) 測定誤差の最小限にする工夫の確立

レンズから被写体までの距離・被写体の角度により測定誤差が異なると予想される。実際に臨床的に想定されるレンズと被写体との予想される距離範囲で、どのような誤差が生じるかを検証した。また、どの角度からの画像であれば許容範囲内(0.5mm以内)の誤差で測定可能かを検証した。

(2) 色調(波長)差を用いた定点分別認識

複眼カメラシステムを用いて3D計測を行うためには、測定すべき部位を定点として認識させることが必要である。生体内での定点間の距離を測定するために色調差による定点を分別させる。別々の色調を判別できる複眼CCDカメラを利用することにより、この色調分解能の精度が増す。

ステレオ3次元計測



(2) 仮想現実を用いたバーチャルシミュレーション

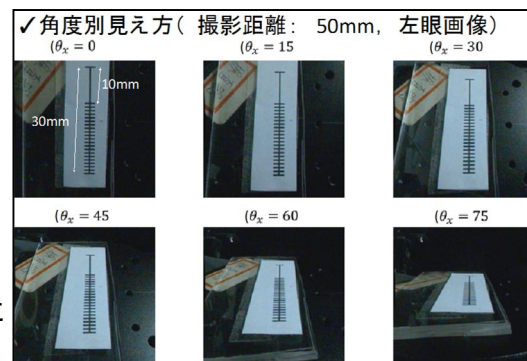
3D 計測から得られた距離データをもとにバーチャルリング画像を実際のブタ心臓画像にスーパーインポーズする。これにより、適切なサイズのデバイス選択が可能となり、術中における弁形成のリング選択のシミュレートが可能となる。



4. 研究成果

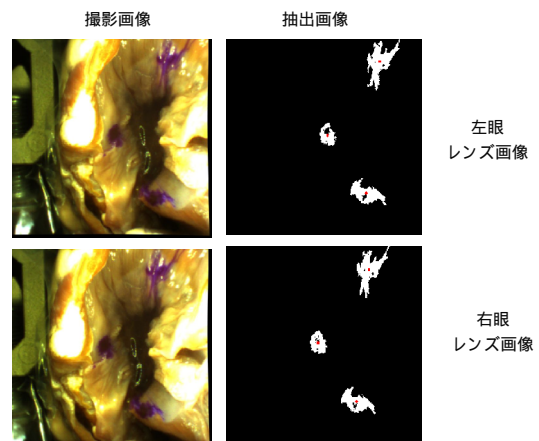
(1) 測定誤差の最小限にする工夫の確立

臨床で使用されている3D 硬性内視鏡カメラから出力される3D 画像は side by side 方式あるいは line by line 方式に録画された画像である。このビデオ出力画像を角度修正して計測する必要があるため必然的に誤差が生じる。どのような条件なら臨床使用の許容範囲内(0.5mm 以内)の誤差で測定可能かを検証した。これをクリアするために被写体角度が 30° までであることが望ましいと判明した。



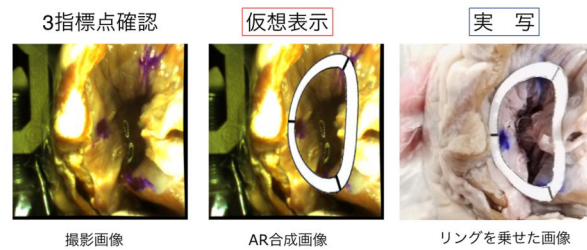
(2) 色調(波長)差を用いた定点分別認識

複眼カメラ TMB-02 をステレオカメラとして撮影を行った。光源は白色 LED リングを使用した。被写体として食用ブタ心臓片を用いた。計測の指標として手術で用いられている色素ピオクタニンをブタ心臓片上の3ヵ所に塗布し領域の抽出を行った。なお、分光反射率推定には分光反射率が既知の複数の物質データ(教師データ)が必要となる。この実験においては、あらかじめ狭帯域フィルタとモノクロカメラを用いて別の心臓片を撮影し、メチレンブルー色素塗布部を含む複数部位の分光反射率の実データを取得し、教師データとして使用した。撮影されたステレオ画像を 450nm、540nm、700nm の分光反射率を用いて特徴抽出を行った。図のごとくマーカーが抽出できていることが確認できた。



(3) 仮想現実を用いたバーチャルシミュレーション

摘出したブタ心臓僧帽弁輪上のメチレンブルー色素を塗布した 3 基準点を認識させた。複眼カメラの視差を利用して、基準点間の距離をはかり人工弁輪のサイズとした。その長さに相当する大きさの人工弁輪を AR(augmented reality:拡張現実)で表示さ



せてブタ心臓画面上にスーパーインポーズさせた。この AR 表示は実際に計ったリングを置いたものとほぼ一致しており、提案システムの有効性を確認できた。本システムが臨床応用へむけての可能性を示唆できた。

(4) 今後の展望

この方法を応用し、ブタ心臓僧帽弁輪上にピオクタニン色素で線を描き、その画像から僧帽弁面積を測定することへの応用を行った。これにより長さという指標ではなく、面積という観点から適合する人工弁輪のサイズを予想ができる可能性がある (第61回日本生体医工学大会2022で発表予定)。また、今後は白色LED光源ではなく通常の手術光源下で行われているロボット心臓手術の術中3D画像で同様のことが可能かを実証したい。一方、ダビンチシステムから出力される手術影像是右目と左目を分離した画像を別々に得られるため角度修正を最小化することが可能であり、より精度の高い3D計測およびAR表示が可能であると思われる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Sanae Deguchi, Kayo Yoshimoto, Yosuke Takahashi, Toshihiko Shibata, Hideya Takahashi	4. 巻 -
2. 論文標題 Augmented reality support system for endoscopic surgery using spectral reflectance estimation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proc. SPIE 11631, Advanced Biomedical and Clinical Diagnostic and Surgical Guidance Systems XIX	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1117/12.2577436	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 柴田利彦
2. 発表標題 MICS支援にむけての3D画像データを用いた計測および仮想現実技術の応用
3. 学会等名 第51回日本心臓血管外科学術総会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	高橋 洋介 (Takahashi Yosuke) (20464620)	大阪市立大学・大学院医学研究科・講師 (24402)	
研究分担者	村上 貴志 (Murkami Takashi) (30747978)	大阪市立大学・大学院医学研究科・准教授 (24402)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
連携研究者	高橋 秀也 (Takahashi Hideya) (30197165)	大阪市立大学・工学系研究科・教授 (24402)	
連携研究者	吉本 佳世 (Yoshimoto Kayo) (00735409)	大阪市立大学・工学研究科・助教 (24402)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関