

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 2 日現在

機関番号：17102

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23791649

研究課題名(和文) 拡張現実による可視化を用いたリアルタイム関節鏡手術支援システムの開発

研究課題名(英文) Research and Development of Visualization of Affected Lesion in Arthroscopic Surgery Using Augmented Reality

研究代表者

田代 泰隆 (Tashiro, Yasutaka)

九州大学・大学病院・特任助教

研究者番号：70567362

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円、(間接経費) 930,000円

研究成果の概要(和文)：3次元ヴァーチャル・リアリティ画像を実鏡視映像へ重畳するAugmented Reality技術を関節鏡手術に応用し、肉眼で判別困難な病変部や関心領域をリアルタイムに可視化する手術システム構築を行った。本研究は光学式センサを用いて実座標系と術前のCT・MRIの3次元画像座標系を表面マーカーにて簡便に位置合わせし、患者や患肢の動きへの連動と侵襲を伴わないレジストレーション、より細かい径・狭い環境下での関節鏡手術に対応可能な専用のデバイス作製に取り組み、精度検証を行った。

レジストレーション精度(FRE)は0.94mmと良好で重畳精度は約3mm、視野移動に対する追従は8-10フレーム/秒であった。

研究成果の概要(英文)：Augmented reality, AR is an innovative technology which superimposes virtual reality images onto a real world. It can visualize an affected lesion hidden by normal structures. We have introduced it into the arthroscopic surgery. We aimed to examine the usefulness of the AR navigation system in the arthroscopic surgery.

The navigation system arthroscopy was built with newly designed device and modified point to point registration using the customized reference stay with optical markers. We designed models of osteochondritis dissecans, OCD knees. Registration was performed using skin markers and Poraris optical tracking system. The accuracy of registration and that of image overlay using new devices were evaluated.

The accuracy of registration by using the new devices was mean 0.94 +/- 0.74mm. The overlay accuracy was mean 3.51 +/- 2.64mm on 2D monitor. AR is a useful help for arthroscopic surgery not only in the treatment of OCD lesion but also in the treatment of ACL injury and tumors.

研究分野：若手研究(B)

科研費の分科・細目：7305

キーワード：Augmented Reality 可視化 画像重畳 関節鏡手術 コンピュータ手術支援 前十字靭帯 離断性骨軟骨炎

1. 研究開始当初の背景

関節鏡手術は患者への侵襲が少なく、術後の疼痛軽減や早期の社会復帰が可能という利点に加え、正確な診断と治療効果の向上が得られることから、近年では広範囲の疾患に適用が広がっている。一方で、手術操作の自由度が低く、術野の展開が制限されるため、重要血管や組織、対象病変を正確に同定することがしばしば困難となりうる。例えば、離断性骨軟骨炎(OCD)の治療では、X線上硬化や分画化を伴う場合、母床のドリリングや骨軟骨片固定が行われるが、関節軟骨が保たれていると、表面からは病変部を同定困難なケースがある。近年、前十字靭帯(ACL)の再建では、解剖学的な2重束再建が提唱されているが、鏡視下では解剖学的な靭帯附着部位に正確に靭帯再建できていない症例がしばしば散見され、手術成績のばらつきが生じうる。また半月板断裂に対する縫合術では、万一、膝窩動脈を損傷すると、重大な合併症を起こす危険性がある。しかしながら、もし靭帯附着部や正常組織に隠れた重要血管や病変をそのままシースルーできれば、視野の限られる鏡視下手術であっても、正確な操作を行う際の有用な手助けになるであろう。

Augmented Reality(拡張現実)は、ヴァーチャル・リアリティによる3次元映像や感覚を現実世界へ重ね合わせることで、利用者にとって有用な情報を補完する技術である。例えば産業界では、戦闘機パイロットへの重要情報をフロントガラス上に提示するHead-up Displayや、自動車開発のデザイン評価、インテリアの購入前シミュレーションの例があり、近年注目を集め、商業応用が拡大しつつある。我々はこの技術を整形外科領域へと応用し、術前の医用画像から仮想の3次元鏡視画像を構成して実際の鏡視モニタへと重畳し、重要組織や関心病変をリアルタイムに透見可能とする新たなシステムの開発に取り組んでいる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、ACL損傷や半月板断裂、OCDに対する関節鏡手術において、3次元ヴァーチャル・リアリティ画像を実際の鏡視映像へ正確に重畳することで、正常組織の奥に存在する重要組織や関心病変をリアルタイムに透見可能な手術支援システムを構築することである。正確な重畳により、安全で有用な鏡視下手術を可能にすることはもちろん、リアルタイムでスピーディな映像表示により、患者と術者の双方にやさしい手術支援システムの確立を目標とする。

3. 研究の方法

まず、膝実体型模型を対象にファントム実験を行う。関節内に壊死領域を想定したマーカーを埋入した実体型模型膝のCTを撮影し、画像データから正常組織と病変部の3次元構築を行う。手術に先立ち、光学式センサ

Polaris®にて表面マーカー位置を計測し、仮想座標系と実座標系のレジストレーション(位置合わせ)を行う。関節鏡の位置・方向も同時にPolaris®にて計測し、斜視鏡の回転角度から視野を算出する。術中は関心領域の3次元映像を必要に応じて関節鏡モニタにリアルタイムに重畳表示する。評価項目として、レジストレーション精度・重畳精度・Augmented Realityによる関心領域の描出率・視野移動への追従速度を判定する。十分な精度や性能が得られれば、動物膝さらに屍体膝を対象に同様の実験を行い、有効性・安全性を確認した上で、臨床応用を行い、Augmented Realityによる可視化を用いた有益な手術支援システムを確立する。

ファントム実験によるシステム確立と精度・性能の向上

対象は、膝OCD症例をモデルとして関節内に壊死領域を想定したマーカーを埋め込んだ位置条件の異なる実体型模型(Sawbones®)膝とする。術前CTを撮影し、そのDICOM画像データを3次元医用画像解析ソフト(Virtual Place®)に取り込み、Segmentation(輪郭抽出)を行って、3次元骨モデルを構築する。その際、関節内のOCD病変や膝窩動脈なども抽出し、3次元構築しておく。手術に先立ち、光学式センサPolaris®にて体表に配置した表面マーカー位置を計測し、実座標系と3次元画像の仮想座標系の間で点対点剛体レジストレーション(位置合わせ)を行う。本システム対応型の関節鏡機器では、搭載した光学式マーカーとギアを用いて、位置・方向の検出と、斜視鏡の回転角度の算出を行う。

術中は、光学式センサによる位置情報と、関節鏡の位置情報および術中画像情報をワークステーションにリアルタイムに取り込んで自動処理を行い、CT情報を画像に乗せて再び関節鏡へ送り返し、ディスプレイに重ね合わせる。具体的には、OCD病変や重要血管の3次元映像を術者の必要に応じて関節鏡モニタの視野にリアルタイム重畳表示し、カメラ移動に伴う視野移動に対しても同時に追従させる。重畳画像には3次元構造形状のわかりやすいレンダリングや、奥行き・表面性状・光源照射方向による陰影など、テクスチャマッピング処理を施し、より現実感があり、使いやすい手術支援性能を付加する。

4. 研究成果

関節鏡用ナビゲーションカメラの作製

本システムで従来使用していたナビゲーションカメラは、腹腔用の10mm径の斜視鏡であったが、今回、関節鏡手術に対応するため、より径の小さな関節用4mm径の斜視鏡用にセンサ取り付け位置を見直し、新たに作成した。本デバイスは絶対回転角を計測するため、斜視の回転をロータリーエンコーダに伝達するためのギアとそれを固定するジグの

間に切欠きを設けた円盤状のサポートが設置されている。この円盤はギアと同軸上に設置されており、ギアのピッチ円半径と同等の半径を有している。対するロータリーエンコーダ側にはスプリング式のリミットスイッチが設置されており、ギアが一周するたびに、このリミットスイッチが切欠きに引っかかり、軽い手応えと作動音で一周したことを術者に知らせることが可能である。このようにして絶対回転角を得るためにギアの原点を物理的に保証した。また、キャリブレーション時にはこの点を 0° としてソフトウェア上で回転角のリセットを行うことにより、理論上の 0° を補正出来る。さらに、本カメラは通常の関節鏡カメラと同様の操作で、鏡筒とカメラヘッドを分解することができ、滅菌することが可能である。本体に装着した光学式三次元位置計測装置 (Polaris®, NDI, Canada) のマーカーにてカメラの姿勢をリアルタイムにトラッキングし、同時にカメラ本体に対する斜視鏡の回転角をロータリーエンコーダにて計測する。

内容・データ

3次元ヴァーチャル・リアリティ画像を実鏡視映像へ重畳する Augmented Reality 技術を関節鏡手術に応用し、肉眼で判別困難な病変部や関心領域をリアルタイムに可視化する手術システム構築を行った。本研究では光学式センサを用いて実座標系と術前の CT・MRI の 3次元画像座標系を表面マーカーにて簡便に位置合わせし、患者や患肢の動きへの連動と侵襲を伴わないレジストレーション、より細かい径・狭い環境下での関節鏡手術に対応可能な専用のデバイス作製に取り組み、精度検証を行った。

レジストレーション精度 (FRE) は 0.94 ± 0.74 mm と良好で、重畳精度は 2D モニタ上で 3.51 ± 2.64 mm、奥行きを考慮した 3D での重畳精度は 5.76 ± 3.91 mm であった。視野移動に対する追従は 8-10 フレーム/秒で可能であった。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 4 件)

1. 植村宗則、田代泰隆ほか. 関節鏡手術における Augmented Reality 技術を用いた病変可視化のためのシステム構築. 日本コンピュータ外科学会誌, Vol.13 No.4: 453-459, 2011.
2. 植村宗則、田代泰隆、神代竜一、長尾吉泰、富川盛雅、橋爪誠. 一般外科・整形外科領域における Augmented Reality 技術を用いた病変可視化システムの現状. 映像情報 Medical, 44 巻 6 号:524-528, 2012.
3. 福徳款章、田代泰隆、坂本昭夫、松田秀一、岡崎賢、岩本幸英. 整形外科と災害

外科, 61 巻 4 号:623-626, 2012.

4. Tashiro Y, Okazaki K, Uemura M, Toyoda K, Osaki K, Matsubara H, Hashizume M, Iwamoto Y. Comparison of transtibial and transportal techniques in drilling femoral tunnels during anterior cruciate ligament reconstruction using 3D-CAD models. Open Access J Sports Med. 2014 Apr 4;5:65-72.

〔学会発表〕(計 10 件)

1. 田代泰隆、岡崎賢ほか. 前十字靭帯二重束の大腿骨側付着部および骨孔設置位置に関する三次元 CT を用いた解剖学的検討. 第 84 回日本整形外科学会学術集会, 2011.5.12-15, 横浜.
2. 田代泰隆、岡崎賢ほか. 三次元 CT を用いた前十字靭帯二重束の大腿骨付着部シミュレーションと骨孔設置位置に関する検討. 第 37 回日本整形外科学スポーツ医学会, 2011.9.23-24, 福岡.
3. Tashiro Y, Okazaki K, Uemura M, Toyoda K, Hashizume M, Iwamoto Y. Simulation and evaluation using 3D CT and MRI knee models for drilling femoral bone tunnels in anterior cruciate ligament reconstruction. 26th International Congress and Exhibition of Computer Assisted Radiology and Surgery (CARS 2012). 2012.6.27-6.30, Pisa, Italy.
4. Munenori Uemura, Yasutaka Tashiro, Ryuichi Kumashiro, Morimasa Tomikawa, Makoto Hashizume. Validity of newly-developed augmented reality navigation system for arthroscopic surgery. The 34th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. 2012.8.28-9.1. San Diego, California, USA.
5. 田代泰隆、岡崎賢、植村宗則、豊田和孝、橋爪誠、岩本幸英. 三次元 CT/MRI 骨モデルを用いた前十字靭帯二重束再建術の大腿骨孔シミュレーションと術後設置位置の評価. 第 51 回日本生体医工学会大会 2012.5.10-5.12, 福岡.
6. 田代泰隆、岡崎賢、松田秀一、植村宗則、豊田和孝、松原弘和、橋爪誠、岩本幸英. 三次元 CT 骨モデルを用いた前十字靭帯二重束の大腿骨孔シミュレーションと術後設置位置の検討 - trans-tibial 法 vs. far-medial 法 - 2012.5.17-5.20, 京都.
7. 田代泰隆、岡崎賢、植村宗則、豊田和孝、橋爪誠、岩本幸英. 三次元 CT/MRI 骨モデルを用いた前十字靭帯二重束再建術の大腿骨孔シミュレーションと術後設置位置の評価. 第 4 回日本関節鏡・膝・スポーツ整形外科学会, 2012.7.19-21, 沖縄.
8. Tashiro Y, Okazaki K, Matsubara H, Iwamoto Y. Simulation and evaluation

using 3D CT and MRI knee models for drilling femoral bone tunnels in anterior cruciate ligament reconstruction. 9th Biennial ISAKOS Congress 2013. 2013.5.12-16. Toronto, Canada

9. 田代泰隆, 岡崎賢, 松原弘和, 大崎幹仁, 水内秀城, 濱井敏, 岩本幸英. 前十字靭帯再建術での骨孔作製法の違いによる骨孔位置と術後不安定性 - 骨付き膝蓋腱を用いた再建例での検討. 第126回西日本整形・災害外科学会, 2013.11.9-10, 宇部.
10. 田代泰隆, 岡崎賢, 松原弘和, 大崎幹仁, 崎村陸, 水内秀城, 濱井敏, 岩本幸英. 骨付き膝蓋腱を用いた前十字靭帯再建術における大腿骨孔作製法の違いによる骨孔位置と回旋不安定性の検討. 第5回日本関節鏡・膝・スポーツ整形外科学会 (5th JOSKAS) 2013.6.20-22. 札幌.

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田代泰隆

研究者番号：70567362

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：