

氏 名	光 野 乃 祐
(ふりがな)	(みつの だいすけ)
学位の種類	博士(医学)
学位授与番号	乙 第 号
学位審査年月日	平成31年1月30日
学位授与の要件	学位規則第4条第2項該当
学位論文題名	Intraoperative Evaluation of Body Surface Improvement by an Augmented Reality System That a Clinician Can Modify (臨床医でも修正可能な拡張現実システムによる、 体表形状改善の術中評価)
論文審査委員	(主) 教授 鳴 海 善 文 教授 根 尾 昌 志 教授 植 野 高 章

### 学 位 論 文 内 容 の 要 旨

拡張現実 (Augmented reality、以下 AR) 技術とは、現実風景とコンピューターグラフィックス (以下 CG) を合成して表示する技術のことである。

これまでの医療における AR 技術の報告例は、医療用ナビゲーションシステムに関係した深部臓器の可視化についてのものが多かった。一方我々は、直視可能な体表に対してそれに対応する 3D イメージを投影する目的で AR 技術を使用し、手術による改善度をより客観的に判断することを試みた。

## 《方法》

### 【対象症例】

頬骨骨折 3 例・顔面多発骨折 1 例・唇裂外鼻変形 2 例・線維性骨異形成 1 例・前額部外骨腫 1 例の計 8 例とした。体表の 3D イメージは「術前形状」「理想的な術後形状」の両者を作成し、それぞれ表示切り替え可能な状態とした。骨の操作を伴う症例では骨の 3D イメージも作成し臨床に寄与するかを検討した。

### 【AR システムの仕組み】

既存のプログラム・3D カメラ・AR デバイスの組み合わせにより AR システムを構築した。使用した AR デバイスは EPSON の MOVERIO BT-200（以下 MOVERIO）である。アプリケーション開発用ソフトウェア Unity により、3D イメージが閲覧可能なアプリケーションを作成し MOVERIO にインストールする。

3D イメージを術野の特定位置に表示させる仕組みとして、ライブラリ Vuforia を用いた平面マーカー方式を採用する。

### 【術野投影用 3D イメージの準備】

3D 画像撮影装置 VECTRA から取得した体表の 3D データと、患者 CT の DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine) ファイルから取得した体表／顔面骨の 3D データを、3DCG 作成ソフト Blender にインポートしたのち、理想的に治療された 3D イメージを作成する。

### 【術中使用と有用性の評価】

手術手技を通常通り行った時点で AR デバイスを使用する。3D イメージを対応する体表に重ねて表示し、同一視野で様々な角度から術野との比較を行う。症例毎に得られた知見を基に、より有用なシステムの確立を目指す。

## 《結果》

症例 1 から 8 いずれにおいても、マーカーは速やかに認識され 3D イメージが術野に表示された。当初表示誤差がマーカー平面方向で 30-40mm 前後、奥行き方向では 50mm 以上

認めたが、症例 3 以降に手動で誤差を修正するプログラムを加え、それ以降は、術野とモデルを重ねた状態で比較することが出来るようになった。

モデルは症例 2 まで単色表示としていたが、症例 3 以降は精細なカラー表示とし、術野との比較が容易になった。更に症例 5 以降、モデルの透明度を調整することでより比較が容易になった。症例 7 の顔面多発骨折においては骨の露出時に整復済み骨モデルを投影することで、体表モデルと同様に整復位置の把握に有用であった。症例 8 の前額外骨腫では、腫瘍周囲のみを抽出したモデルを作成し、術野からすこし離して表示することで、体表の変形が少ない場合でも視覚的な比較が容易であるという知見を得た。

#### 《考察》

体表の改善度を判断する方法として「術者の目測による判断」と「検査による定量的評価」があるが、今回の研究では、前者のための参照情報を術者が得ることが目的であった。手術終了時に術野と理想モデルの形状に明らかな差異を認めた場合、術者が追加手技を行うかどうかの判断材料となる。実体模型を用いた場合と比べ、術野と理想モデルを完全に重ねた状態での比較やデータ表示法切り替えが可能という利点がある。

今回の研究により、術野と比較するための 3D イメージの効果的な表示法（単色かカラーか、全体表示か部分表示か、上乗せ表示か並列表示か、等）は症例により異なることが判明した。そのため、3D イメージの表示法を症例ごとに柔軟に変更可能な AR システムを作ることが望ましい。

今回 3D イメージと体表の位置合わせ手法として平面マーカー方式を用いたが、表示誤差が生じ、手動で補正する必要があった。マーカーを用いずに **Simultaneous Localization and Mapping (SLAM)** 技術を用いて周囲環境の立体情報による位置合わせを行った報告もあり、今後採用を検討している。

従来 AR 技術を用いるには長大な時間と多大なコストがかかるが、今回、既存のデバイスとソフトウェアをベースとした低コストの AR システムを構築し、症例毎に得た知見を基にシステムに変更を加えていった。モデルの表示法の変更などは技術的には容易な変更

であったが、それが臨床医の手で可能となった意義は大きいと考えられる。

今後の展望としては、リアルタイムでデバイス間の連携が可能なシステムの構築を目指す。

それにより術者間の意思統一、レジデントへの指導、医学教育等幅広い展開が予想される。

#### 《結論》

今回我々は、AR 技術を体表の改善度評価に用いる事を着想し、既存のデバイス・ソフトウェア・ライブラリの組み合わせにより改良が容易な AR システムを構築した。実際に症例を重ねた結果、症例ごとに 3D イメージ表示法の工夫を行うことで体表の改善度評価に AR 技術が有用であることが確認できた。

## 論文審査結果の要旨

拡張現実 (Augmented reality、以下 AR) 技術とは、現実風景とコンピューターグラフィックスを合成して表示する技術のことである。視点移動不要での作業支援を始めとして多くの利点があるため、近年様々な分野で急速に発達しているが、従来医療分野での AR 技術の応用報告は、医療用ナビゲーションシステムに関係した深部臓器の可視化についてのものが多くを占めていた。

そこで申請者は、直視可能な体表に対して 3D イメージを投影し、手術による改善度をより客観的に判断する目的で AR 技術を使用することを着想した。

既存のプログラム・検査器・AR デバイスの組み合わせにより、改良が容易な AR システムを構築し、体表に何らかの変形を持つ 8 例に臨床使用した。3D イメージの表示法は症例毎に得られた知見を基に逐一変更を加えた。

その結果、体表の形状変化の程度・範囲により、比較のしやすい 3D イメージの表示法 (単色かカラーか、全体表示か部分抽出か、上乘せ表示か並列表示か) が異なることが判明した。そのため、3D イメージの表示法を症例ごとに柔軟に変更可能な AR システムが必要なことが示唆された。

本研究は、AR 技術を体表の形状評価に利用した最初の論文である。また、既存のプログラム・検査器・AR デバイスを用いることで、従来は多大なコストと時間がかかるものであった AR システムを低コストかつ臨床医でも改良が可能なものとして構築した事は臨床的意義がある。この事は体表の形状評価にとどまらず AR 技術の今後の様々な臨床応用を進める上で重要で、申請者は同様の手法で AR デバイスを用いた遠隔指導、AR デバイス使用時の簡便な手動位置合わせ法についての研究結果を報告している。

以上により、本論文は本学学位規程第 3 条第 2 項に定めるところの博士 (医学) の学位を授与するに値するものと認める。

(主論文公表誌)

Plastic and Reconstructive Surgery -Global Open-  
5(8): e1432, 2017 <オンライン掲載>