



# 三次元実体モデルと複合現実デバイスによる 手術シミュレーションと遠隔医療への応用

上田晃一, 光野乃祐, 廣田友香, 岡本豊子, 木野紘美, 梅田千鶴

大阪医科大学 形成外科学教室 (〒569-8686 大阪府高槻市大学町 2-7)

**概要:** われわれは硬(骨)組織モデルの上に人体に近似した皮膚および皮下組織で被覆された三次元モデルを開発した. さらに HoloLens を用いて, その上に三次元の血管造影像や顔面骨, 目標とする顔貌を投影することにより, より正確な手術計画, 医師の教育が可能となることを確認した. またモデルを用いて遠隔地の医療機関と HoloLens を Skype で接続し, 手術指導や手術シミュレーションを行うことが可能となることを実証した.

**キーワード:** AR/MR, 医療応用, 手術シミュレーション, 三次元モデル

## 1. はじめに

現在, 臨床の現場で手術計画に用いられている顔面の三次元モデルは硬(骨)組織専用である. 実際の手術では骨切りや骨の移動のみならず, 皮膚の切開や剥離, 移動も主な手術操作であるため, 皮膚軟部組織も含めた実体モデルが望ましい. またそのモデル上に三次元の血管造影像や顔面骨, 目標とする顔貌を投影することにより, より正確な手術計画, 医師, 医学生の教育, 患者説明が可能になると考えられる.

近年, 医師の偏在が問題となっており, 遠隔医療の支援が勧められているが, 使用するデバイスや通信回線など解決すべき課題は多くある. あらかじめ手術の前に三次元実体モデルを作成し, 遠隔地の医療機関と複合現実デバイスを用いて Skype で接続し, モデル上に様々な画像情報を共有することにより, より正確な手術指導や手術シミュレーションを行うことが可能になる.

## 2. われわれが開発した三次元実体モデル

まず最初に 2 層型の皮膚軟部組織モデルを開発し, 次に硬(骨)組織を組み合わせた 3 層型軟硬組織モデルを開発した.

### 2.1 三次元実体 2 層軟部組織モデル

**[目的]** 実際の皮膚と近似した切開や剥離, 移動が可能な 3 次元実体皮膚軟部組織モデルの作成を試みた.

**[方法]** われわれのモデルは表層が真皮の厚さのポリウレタン製で, 深層は皮下組織を想定したシリコン製の 2 層構造で, 二つの弾性係数に違いがあり, 実際の人体と近似した切開や縫合, 皮弁移動が可能となる [1]. このモデルは患者の CT や MRI の DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine manager) から作成されるが, 3D 画像撮影装置 (VECTRA) から作成した STL

(stereolithographic) data から作成できる.

**[結果]** 人体の皮膚と近似した皮膚の切開, 剥離, 移動の操作が可能なモデルが完成した(図 1). われわれはこのモデルを用いて, 医師, 研修医, 医学生の切開縫合, 皮弁移動の実習に用いている(図 2). また実際の顔面の腫瘍切除, 皮弁移動の手術シミュレーションに用いて大きな成果を得ている.

### 2.2 三次元実体 3 層軟硬組織モデル

**[目的]** 顔面多発骨折の手術シミュレーションや骨切り, 骨延長術, 骨移植による皮膚軟部組織の変化すなわち顔



図 1: 三次元実体 2 層軟部組織モデル



図 2: モデルを用いた実習風景

貌の変化を捉えるため、三次元実体軟硬組織モデルの作成を試みた。

〔方法〕モデルはCTのDICOM dataからまず顔面外表の鋳型を作成する。次に表層のポリウレタンを約2mmの厚さで流し込み、硬化した時点で、塩でできた3次元実体骨モデルと合体させ、その隙間にシリコンを注入し、外側の鋳型を壊して作成する。

〔結果〕骨の移動による外表軟部組織の変化が捉えられ、かつ切開縫合、皮弁移動が可能なモデルが完成し(図3)、様々な臨床応用を可能にした[2]。

### 2.3 三次元実体モデルと複合現実デバイスによる手術シミュレーションと遠隔医療への応用

〔目的〕われわれの三次元実体モデル上に2Dもしくは3Dの画像情報、あるいは動画情報を投影することにより、より正確な手術シミュレーションが可能となる。われわれはすでに形成外科領域の臨床現場に複合現実デバイスを投入し、その有用性を確かめている[3]。

また将来の遠隔医療の支援のためにモデルと複合現実デバイスを用いて、動画情報を共有できるかについて試みた。

〔方法〕顔面モデルに局所皮弁のデザインを行い、切開と皮弁移動、縫合操作を加える。また唇裂モデルにも同様に実際の手術と同じデザインを行い、切開と縫合操作を行う。

それぞれの過程でVECTRA 3Dカメラで記録し、複合現実デバイス HoloLens 上のホログラムとしてモデル上に投影して、医師のシミュレーションや教育に用いることが可能かについて試みた。また2台の HoloLens を用いて高知県の病院と大阪府高槻市の病院の間(約250km)を Skype で接続し、唇裂モデルや三次元実体軟硬組織モデルを模擬患者として動画情報を共有し、手術の支援の実証実験を行った(図4)。

〔結果〕HoloLens を用いると、術野から視線を別のところへ移すことなく、手術操作を進めることができる点や三次元映像が投影できる点などさまざまな利点があることが分かった。また遠隔医療の実証実験ではほとんど音声、動画情報が遅延しないことを確認した。また視野にマーキングを行うテレプレゼンテーション機能や画像を貼り付けることが可能で様々な手術支援が可能であることが確認された。



図 3: 三次元実体 3 層軟硬組織モデル



図 4: 実体モデルと HoloLens を用いた遠隔医療の実証実験

## 3. フィードバックと考察

### 3.1 三次元実体 2 層軟部組織モデルについて

医師や医学生の教育ツールとして用いる汎用モデルと患者個人のデータから得られる個別モデルの二通りのモデルが作成される。汎用モデルは一つの鋳型から大量に生産が可能となり、製作コストを下げることができる。一方個別モデルは個別の鋳型を作成しなければならないのでコストは上がるが個々の症例に応じたきめ細やかな手術シミュレーションが可能となる。

### 3.2 三次元実体 3 層軟硬組織モデル

すでに臨床応用を開始しているが、硬(骨)組織の移動による軟部組織(顔貌の変化)がよく分かり、また実際の手術で骨移植が可能かどうか確かめることができ、非常に有用である。

### 3.3 三次元実体モデルと複合現実デバイスによる手術シミュレーションと遠隔医療への応用

このモデルを用いることで綿密な手術計画が可能となり、さらに複合現実デバイスを用いて様々な画像情報を投影することにより、医師、医学生に正確な手術手技を教授できる教育ツールとなり得ると考えられる。画像情報の表示法については今後の検討すべき課題である。遠隔医療への応用については実際の手術の前にモデルと複合現実デバイスを用いて模擬手術を行うことの学習効果は計り知れない。今後の臨床に応用が期待される。

## 参考文献

- [1] Ueda K, et al. Three-dimensional computer-assisted two-layer elastic models of the face. *Plastic and Reconstructive Surgery*. 2017;140.983.
- [2] Ueda K, et al. Three-dimensional computer-assisted three-layer models of the face. *Plastic and Reconstructive Surgery*. 2018;141.199e.
- [3] Mitsuno D, et al. Intraoperative evaluation of body surface improvement by an augmented reality system that a clinician can modify. *Plastic and Reconstructive Surgery Global Open*. 2017;5.1432e.