

氏 名	片山 美里
(ふりがな)	(かたやま みさと)
学 位 の 種 類	博士 (医学)
学 位 授 与 番 号	甲 第 70 号
学 位 審 査 年 月 日	令和 6 年 1 月 17 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第 4 条第 1 項該当
学 位 論 文 題 名	Clinical Application to Improve the “Depth Perception Problem” by Combining Augmented Reality and a 3D Printing Model (拡張現実と実体模型とを組み合わせた「奥行き知覚問題」の改善に向けての臨床応用)
論 文 審 査 委 員	(主) 教授 植野 高章 教授 河田 了 教授 吉田 秀司

学 位 論 文 内 容 の 要 旨

《目 的》

拡張現実 (Augmented reality; AR)とは、コンピュータで生成された画像を現実世界にシームレスに重ね合わせ、現実の物体やシーンと融合させる、近年注目されている新しい技術である。我々はこれまでに AR 技術を用いて、様々な症例において術野へのホログラムの投影が術中検討に有用であることを示した。そこで、術前に作製した模型に対してホログラムを投影することが、術前の検討や教育に有用な方法であると考えた。

一般的に、外科分野における AR は、術野に深部の組織を投影することであるが、奥行き知覚問題、Depth Perception Problem (DPP) が生じる。DPP とは、実物よりも奥に位置するホログラムが、表示上実物を遮蔽してしまうことで、実物より前に見えてしまう錯覚である。このことが外科分野において AR を用いる上での大きな課題である。

本研究では、模型とホログラムとを組み合わせた 2 つの実験を行い、模型とホログラムの組み合わせや観察方向によって DPP が改善されるかを調べた。

《方 法》

小顎症患者の CT 画像より得た 3D データから顔面の同一部位の 3D 模型とホログラムを作製した。作製した模型は、骨模型、半透明体表模型、非透明体表模型の 3 種類とし、作製したホログラムは、体表面、血管、骨とした。頭部装着型 AR デバイスである Microsoft 社の HoloLens を用いて模型上にホログラムを投影し、以下の実験を行った。

実験 1：「模型より表層へのホログラムの投影」（骨模型）と「模型より深層へのホログラムの投影」（半透明・非透明体表模型）を観察した場合、観察者の第一印象においてどちらがより解剖学的な位置関係を把握しやすいかを検討した。各模型に血管のホログラムを投影し、10 人のレジデントが 3 段階で評価した。評価方法は、1 点：「観察開始後、即座にわかる」、2 点：「時間をかけるとわかる（所要時間を指定せず）」、3 点：「わからない」として、その平均値を求めた。

実験 2：より定量的な評価を行うために、表層と深層の特定の 2 点間の距離を測定した。

予め設定しておいた測定ポイントである骨表面の点 a と体表面の点 b の 2 点間距離(ab) は CT 画像から測定すると 16.2mm であった。骨模型に体表面のホログラムを、半透明体表模型に骨のホログラムを重ね合わせた状態で、被験者は模型に対して異なる 2 方向から観察した。顔面に対して側面から観察する方向を術野方向とし、顔面に対して正中から観察する方向を正中方向とした。体表面の点 b から直径 1mm の棒を挿入して先端部が骨表面の点 a に達した時点で棒上の点 b に相当する点をマーキングした。棒の先端部（点 a'）からマーキング（点 b'）までの距離（a'b'）を測定した。機器の扱いに慣れた被験者 2 人が 1 模型につき 1 方向 15 回ずつ計測を行った。2 点間距離 ab との測定誤差（a'b'-ab）を算出し、Wilcoxon 符号付順位和検定を行った。

《結 果》

実験 1：各模型における血管ホログラムの認識のしやすさに差が生じた。骨模型、半透明体表模型、非透明体表模型の平均スコアはそれぞれ 1.3、1.8、2.1 であり、骨模型が最も位置関係がわかりやすいことがわかった。

実験 2:いずれの組み合わせにおいても、測定値の中央値は 18～20mm で、実測値 16.2mm との最大差は 11.0mm となり、CT 画像による測定値より大きかった。

各観察方向（術野方向と正中方向）における「骨模型への体表面ホログラムの投影」と「体表模型への骨ホログラムの投影」の違いによる測定誤差を検討した。術野方向での測定誤差は、「骨模型への体表面ホログラムの投影」の方が有意に大きかった ($p=0.01$)。一方、正中方向では有意差を認めなかった ($p=0.73$)。

「骨模型への体表面ホログラムの投影」における、観察方向（術野方向と正中方向）でそれらの測定誤差を検討したところ、術野方向の方が有意に大きかった ($p<0.01$)。一方、「体表模型への骨ホログラムの投影」で同様の検討を行ったところ、術野方向の方が大きい傾向があるものの有意差は認めなかった ($p=0.09$)。

《考 察》

実験 1 の結果では、骨模型が体表模型より位置関係の認知が優れていたが、実験 2 からそれはそれと矛盾する結果であった。その原因として、一般に輝度の高い物体は手前にあると認識されやすいため、明るさによる錯覚が考えられる。さらに観察方向の奥行きベクトルの大きさの影響が考えられ、術野方向では正中方向よりも 2 点間距離 ab の奥行き方向のベクトル成分が大きい。

実験 1 の定性的な観察では、第一印象における位置関係の認知に差が生じるが、実験 2 のより定量的な観察では位置関係を誤認してしまうような大きな測定誤差は生じないことがわかり、模型とホログラムのいずれの組み合わせでも臨床上あるいは教育的に使用できる有用な方法と考えた。

外科分野において AR を応用する際に DPP を低減する方法として、今回の研究結果から、

骨模型などの深部模型上にホログラムを投影すること、体表模型の場合に素材を考慮すること、複数の角度、特に観察領域への奥行き方向のベクトル成分が小さくなる方向からホログラムを投影することが考えられた。

論文審査結果の要旨

拡張現実、Augmented reality (AR) は、近年注目されている新しい技術であり、近年様々な医療分野へ応用されている。申請者は術野への深部臓器のホログラムの投影が術中検討に有用であることを示してきたが、その際に問題となる Depth Perception Problem (以下、DPP) は、外科分野で AR を用いる上での大きな課題である。

本研究では、三次元模型へ臓器のホログラムを投影した場合、これらの組み合わせや観察方向が奥行き方向の錯覚にどう影響するかを詳細に検討し、DPP をより軽減し効果的に観察ができる条件を調べている。

「模型より表層へのホログラムの投影」(骨模型) と「模型より深層へのホログラムの投影」(半透明・非透明体表模型) を観察した観察者の第一印象においては位置関係の把握に差が生じるが、十分に観察した場合には位置関係を誤認するような大きな測定誤差は生じないことがわかり、いずれの組み合わせでも術前検討・解剖学的な学習目的へ使用できると考察している。

また、奥行きのある解剖学的構造への理解度を高めるために、骨模型などの深部模型上にホログラムを投影することや、体表模型の場合に素材を考慮すること(半透明模型の使用)、複数の角度からホログラムを投影すること(観察領域への奥行き方向のベクトル成分が小さくなる方向)は、DPP をより軽減するため望ましい条件であることを示している。

DPP を軽減するために投影内容であるホログラムの表示方法を工夫した報告は存在するが、投影対象の影響を検討したものはない。さらに、形成外科領域で手術操作が求められる皮膚と皮下のごく浅い深度間における DPP に関する報告もなされていないことから、本研究の結果は、今後 AR 技術を外科分野に効果的に活用するにあたり新たな知見である。

以上により、本論文は本学大学院学則第 13 条第 1 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. 11(6): e5071, 2023 Jun 23.
DOI: 10.1097/GOX. 0000000000005071