



超音波検査用プローブの MR 遠隔操作指示システムのための 患者体幹再現手法の検討

鈴木悠太¹⁾, 水戸部一孝¹⁾, 藤原克哉¹⁾

1) 秋田大学大学院理工学研究科 (〒010-8502 秋田県秋田市手形学園町 1-1, m8022507@s.akita-u.ac.jp)

概要: 本研究では、超音波検査において専門性の高いプローブ操作を専門医が遠隔地の患者宅にいる看護師に遠隔で指示する MR システムの実現を目指している。その中で仮想空間での患者体幹の再現は、専門医の正確なプローブ操作指示に重要である。そこで、患者体幹を再現したモデルの変形手法として「ハンドピンチによるモデル変形」と「エアタップによるモデル変形」を考案した。そして検証実験によりそれらの主観的有用性評価とプローブ操作の正確度を評価した。その結果、主観的有用性と作業時間はエアタップによるモデル変形において高評価であったが、プローブ操作の正確度はハンドピンチによるモデル変形において高精度であった。

キーワード: MR, 遠隔操作指示, 超音波検査

1. はじめに

近年の COVID-19 の流行により遠隔診療の導入が拡大している[1]。遠隔診療では看護師が患者宅に訪問し、医師は病院からオンラインで患者に対して診察、処方する。遠隔診療の拡大に伴い、医療機器も遠隔診療に対応したものも登場しており、超音波検査用プローブは描出したエコー画像を別デバイスにワイヤレスで送信することができるものがある。しかしながら、「超音波検査はプローブを当てる角度や強さで断面の描出結果が変わる」、「診断のためにいくつもの断面を描出する必要がある」などの理由から、プローブの操作には高い専門性が求められる。そのため遠隔診療で超音波検査をする場合、超音波検査の専門医がテレビ電話で通信しても、言葉で患者宅にいる看護師にプローブ操作を指示することは容易ではない。

そこで本研究では、超音波検査用プローブの操作を Mixed Reality 技術を用いて遠隔で視覚的にホログラム表示で指示するシステムの実現を目指している。システムでは、専門医が患者宅にいる看護師に対してプローブ型のホログラムでプローブを当てる位置と姿勢を指示し、看護師はホログラムに合わせてプローブ操作してエコー画像を描出する。描出した画像は病院にいる専門医に共有する。また、患者に当てているプローブの位置と姿勢を病院にいる専門医にホログラム表示で共有する。以上のような双方向での利用方法を想定している。

上記の MR 操作遠隔指示システムにおいて、専門医の正確なプローブ操作の伝達のためにはプローブと患者体幹の相対的な位置関係が重要であり、プローブの再現だけで

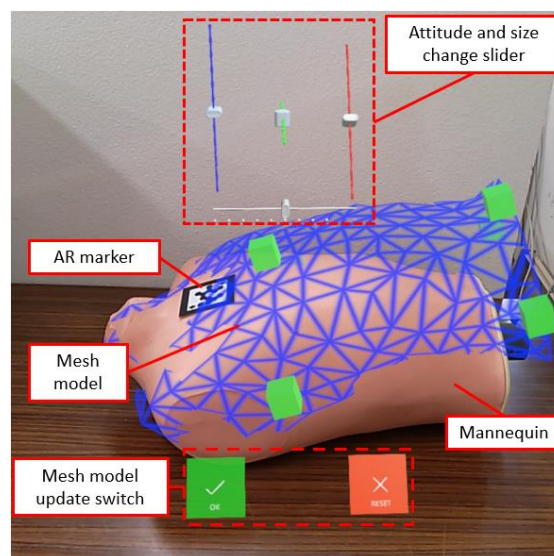


図 1: システムのホログラム表示例

はなく仮想空間での個人差のある患者体幹の再現が重要であることから、本稿では患者体幹再現手法に着目した。患者体幹を再現したモデルの変形手法として「ハンドピンチによるモデル変形」と「エアタップによるモデル変形」を考案した。そして、検証実験によりそれらの主観的有用性のアンケートとプローブ操作の正確度を評価する。

2. 実験システム

2.1 システム構成

図1にシステムのホログラム表示例を示す。実験システムはHoloLens2と患者体幹を模したマネキンで構成される。マネキンにAR マーカーを取り付け、システム内の仮想オブジェクトの位置をマネキンに合わせる。システムではメッシュモデルが表示され、周囲にはメッシュモデルの姿勢・大きさ調整スライダーおよびボタンが配置されている。姿勢調整スライダーは色ごとに調整するメッシュモデルの要素が異なる。緑色がYaw, 青色がPitch, 赤色がRoll, 白色が大きさである、白色は大きさ変更スライダーであり、右に動かすとメッシュモデルは拡大し、左に動かすと縮小する。メッシュモデル更新スイッチはメッシュ形状を決定するOK スイッチ, メッシュ形状を初期状態に戻すRESET スイッチの2種類ある。

2.2 メッシュモデル

図2にメッシュモデルを示す。メッシュモデルはScaniverse[2]を用いてマネキンのメッシュを取得し、Blender でメッシュの頂点数の削減とボーンを設定した。Scaniverse はスマートフォンから直接3D コンテンツのキャプチャや編集および共有が可能なiOS アプリケーションである。メッシュモデルのボーンは、モデルの胸部、両脇、腹部、両脇腹の6か所に設定した。

2.3 患者体幹再現のためのモデル変形手法

個人差のある患者体幹再現のためのモデル変形手法として、「ハンドピンチ操作」と「エアタップ操作」を考案した。図3に患者体幹再現手法を示す。同図(a)はハンドピンチ操作を示しており、ハンドピンチは親指と人差し指で物をつまむように閉じる動作である。はじめに姿勢・大きさ調整スライダーを操作し、メッシュモデルの姿勢と大きさを合わせる。その後、メッシュモデルに配置された緑色の立方体オブジェクトを操作しメッシュモデルの形状を合わせる。同図(b)はエアタップ操作を示しており、エアタップは親指と人差し指を閉じて開く動作である。人差し指から伸びているポインターをマネキンに合わせエアタップ動作をするとポインターの位置に緑色の球体オブジェクトが設置される。球体オブジェクトをマネキンの胸部中心、脇、腹部、脇腹に設置すると球体オブジェクトの座標をもとにメッシュモデルが変形する。

3. 実験方法

3.1 教示条件

図4にマネキンに対するメッシュモデルの配置関係を示す。同図(a)が実験開始時のメッシュモデルであり、同図(b)がマネキンと一致した状態のメッシュモデルである。メッシュモデルはマネキンとは異なる大きさと姿勢で表示される。被験者はメッシュモデルを変形させ、大きさと姿勢および形状をマネキンに合わせる。被験者にはメッシュモデルの形状をマネキン胸部と腹部の面に沿うように注力するように教示した。マネキンと形状が一致したと判断

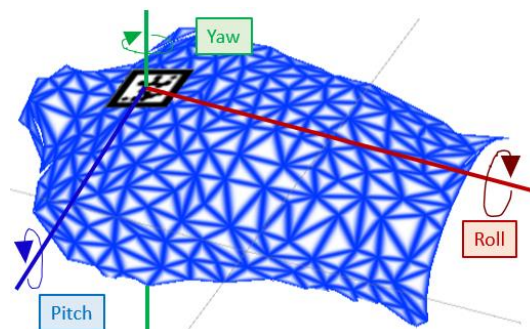
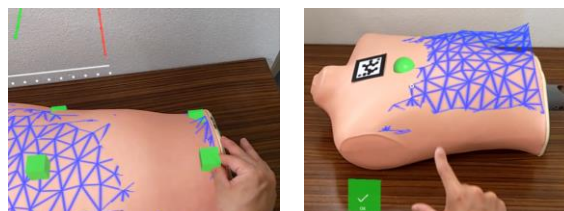
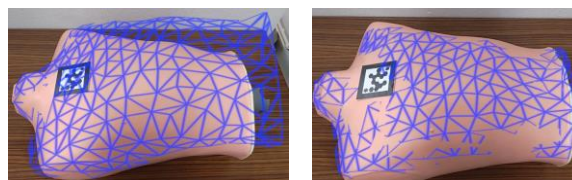


図2: メッシュモデル



(a) ハンドピンチ操作 (b) エアタップ操作

図3: 2種類のモデル変形手法の操作例



(a) 実験開始時 (b) マネキンと一致した状態

図4: マネキンに対するメッシュモデルの配置関係

したら、OK スイッチを押し、メッシュモデルの形状を決定する。以上を1試行とする。各条件で16試行ずつ、合計32試行実施した。

実験参加者は20代の男性8名である。なお、本実験は秋田大学倫理委員会の審査を経て実施された。

3.2 再現精度評価ポイント

患者体幹再現手法の再現精度を評価するために、再現精度評価ポイントを設けた。評価ポイントの位置はマネキン上の胸部中心、左右の脇、腹部、左右の脇腹の6か所とし、それぞれメッシュモデルの形状がマネキンと一致した際のメッシュモデルのボーン的位置である。また、超音波検査用プローブの操作の正確性を評価するために、超音波検査の1つであるFOCUSにおけるプローブ位置[3]を参考にプローブ位置評価ポイントを1か所設定した。メッシュモデルの各ボーン的位置、プローブ位置と評価ポイントとのズレを評価する。

3.3 実験後アンケート

実験終了後、被験者にアンケートに回答してもらった。アンケートでは、システムを使用した際の主観的有用性を評価する指標としてThe System Usability Scale (以下、SUS) [4][5]を使用した。SUSは、システムの有用性に関する10項目の質問について、まったく思わないの1点からとても

思うの5点までの5段階で構成される。回答をもとに各項目のスコア寄与度を合計し、100点を満点とする SUS スコアを算出する。各項目のスコア寄与度は0から4の範囲とし、奇数番号の項目は尺度位置から1を引き、偶数番号の項目は5から尺度位置を引く。最後にスコア寄与度の合計に2.5をかけ、SUS スコアを得る。85以上で有用性がとても高い、50から70で有用性がある、50未満で有用性が低いと評価される。図5に作成したアンケート項目を示す。

4. 実験結果

4.1 アンケート結果

アンケート結果として、被験者8名の SUS スコアの平均値はハンドピンチによるモデル変形が52.5 ± 23.3, エアタップによるモデル変形が69.4 ± 17.4であった。また、図6に各質問項目の SUS スコアを示す。10項目の中で2. 必要以上に複雑だ, 3. システムは使いやすいについて、エアタップによるモデル変形において SUS スコアが有意に高かった。

4.2 1試行あたりの所要時間

実験16試行中最初の4試行を練習とし、残りの12試行について評価した。図7に1試行あたりの平均所要時間を示す。再現手法間でエアタップによるモデル変形の方が有意に小さかった。また、被験者ごとと比較すると、8名中5名でエアタップによるモデル変形の方が有意に小さかった。残りの3名では有意差は見られなかった。

4.3 プローブ位置評価ポイントとのずれ

変形後のメッシュモデル上で専門家がプローブ操作を指示することを想定し、マネキン上のプローブの位置とメッシュモデル上のプローブ位置がどの程度ズレがあるか評価した。図8にプローブ位置評価ポイントでのズレを示す。再現手法間でハンドピンチによるモデル変形の方が有意に小さかった。また、被験者ごとと比較すると、8名全員でハンドピンチによるモデル変形の方が有意に小さかった。

5. 考察

主観的有用性のアンケート結果より、エアタップによるモデル変形において SUS スコアが高く、有用性があると判断できる。アンケートに設けた自由記述では、ハンドピンチによるモデル変形は操作が多い、立方体オブジェクトの操作が難しい、スライダーがわかりづらいという意見があった。形状を微調整する立方体オブジェクトに加えてスライダーがあり、操作が多かった。一方でエアタップによるモデル変形では、操作がシンプルであった、直感的であったという意見があった。ハンドピンチによるモデル変形と比べて、エアタップ操作による球体オブジェクトの設置のみであった。以上から、再現手法の操作の複雑さの違いから有用性に差が出たと考える。

1試行にかかった時間について、ハンドピンチによるモデル変形では操作の多さと形状の微調整に時間をかけて

No.	日本語	英語	スコア				
			1	2	3	4	5
1.	このシステムを頻繁に使用したいと思う I think that I would like to use this system frequently	ハンドピンチ	1	2	3	4	5
		エアタップ	1	2	3	4	5
2.	必要以上に複雑だ I found the system unnecessarily complex	ハンドピンチ	1	2	3	4	5
		エアタップ	1	2	3	4	5
3.	システムは使いやすい I thought the system was easy to use	ハンドピンチ	1	2	3	4	5
		エアタップ	1	2	3	4	5
4.	使えるようになるには専門家の助けがいる I think that I would need the support of a technical person to be able to use this system	ハンドピンチ	1	2	3	4	5
		エアタップ	1	2	3	4	5
5.	いろんな機能がうまくまわっている I found the various functions in this system were well integrated	ハンドピンチ	1	2	3	4	5
		エアタップ	1	2	3	4	5
6.	ちくはく点が多すぎる I thought there was too much inconsistency in this system	ハンドピンチ	1	2	3	4	5
		エアタップ	1	2	3	4	5
7.	たいてい人がすぐ使えるようになる I would imagine that most people would learn to use this system very quickly	ハンドピンチ	1	2	3	4	5
		エアタップ	1	2	3	4	5
8.	とても扱いづらい I found the system very cumbersome to use	ハンドピンチ	1	2	3	4	5
		エアタップ	1	2	3	4	5
9.	使いこなせる I felt very confident using the system	ハンドピンチ	1	2	3	4	5
		エアタップ	1	2	3	4	5
10.	使い始めるまでに学習することが多かった I needed to learn a lot of things before I could get going with this system	ハンドピンチ	1	2	3	4	5
		エアタップ	1	2	3	4	5

図5: アンケート項目

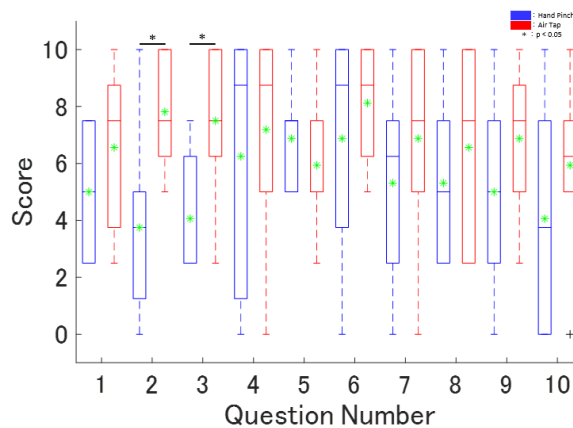


図6: 各質問項目の SUS スコア (N=8)

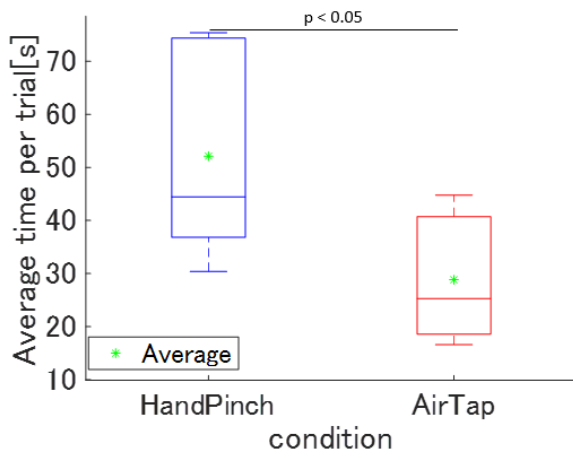


図7: 1試行あたりの平均所要時間 (N=8)

いたことに対して、エアタップによるモデル変形ではエアタップ操作による球体オブジェクトの設置のみであった

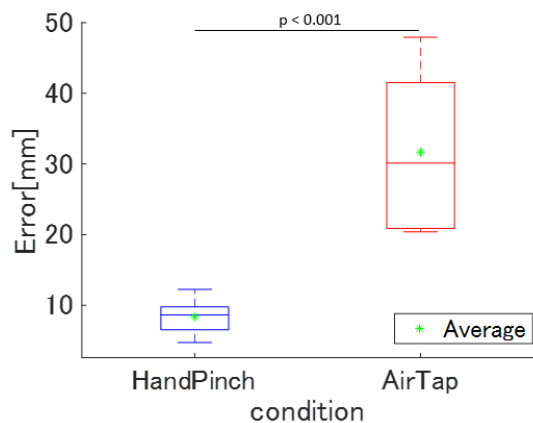


図 8: プローブ位置評価ポイントでのずれ (N=8)

ため所要時間がかからなかったと考える。

プローブ位置のズレについて、エアタップによるモデル変形の方が有意に大きかった。球体オブジェクトの設置個所について画像を使って教示していたが、被験者が十分理解できていなかったと考える。また、球体オブジェクトの設置個所が曖昧であったと考える。そのため、使用者が理解しやすいオブジェクトの設置個所を設定する必要がある。

今回の結果は、ハンドピンチによるモデル変形の方がプローブ操作の正確性が高いことを示している。しかしながら、ズレの平均は8.4mmであり、プローブを当てる位置がずれてしまうと描出結果が変わってしまうという点から、遠隔指示システムで使用するには正確性が低いと考える。システムで使用する場合、ズレは1mmから2mm以下が望ましいと考える。そのため、正確性を向上させる手法を考

案する必要がある。

6. おわりに

超音波検査の専門医が遠隔地の患者宅にいる看護師に超音波プローブ操作を指示するMR遠隔指示システムにおける患者体幹のモデル変形手法として、「ハンドピンチによるモデル変形」と「エアタップによるモデル変形」の再現度とプローブ操作の正確性について検証した。ユーザビリティについてはエアタップによるモデル変形が高い有用性を示したが、再現度についてはハンドピンチによるモデル変形が高かった。しかしながら、プローブ操作の正確性はズレが8.4mmと実用に足りるほど高くはなかった。今後は患者体幹再現手法について、より精度の高い手法を検討していく。

参考文献

- [1] 津田万里, 森屋宏美, 浦野哲哉: 世界と日本の遠隔診療の現状と遠隔診療に対する学生教育の展望, 医学教育, Vol.53, No.3, pp.271-277, 2021.
- [2] Nianic, Inc : Scaniverse - 3D Scanner with LiDAR for iPhone and iPad, SCANIVERSE, <https://scaniverse.com/> (参照 2023-7-5)
- [3] 山田徹, 高橋宏瑞, 南太郎: エコーを聴診器のように使おう! POCUS, レジデントノート 8, Vol.20, No.7, pp.1052-1061, Aug. 2018.
- [4] John Brooke : SUS-A quick and dirty usability scale, Usability Evaluation in Industry, 1996.
- [5] John Brooke : SUS-A Retrospective, Journal of Usability Studies, 8(2), pp.29-40, 2013.