

脳神経外科医のためのMR縫合訓練システム

田代 優香* 宮藤 詩緒* 清藤 哲史† 金 太一† 五十嵐 健夫‡ 小池 英樹*

概要. 医療分野において練習の効率化は重要な課題である。特に脳神経外科の顕微鏡縫合術は実際の手術に至るまで膨大な練習量が必要である。そこで本研究では脳神経外科の医師の意見をもとに、MRを用いた顕微鏡縫合訓練システムを提案する。本研究のセットアップは従来の訓練と近い環境にするために、ビデオシースルー型のHMD(ヘッドマウントディスプレイ)を用いる。また、縫合のフェーズごとのフィードバックをリアルタイムに表示するために、音声認識によるリアルタイムフェーズ分割を行う。提案したMRシステムの使いやすさと有用性を検証するために、本システムを用いて脳神経外科医を対象に被験者実験を行った。実験の結果、フィードバックを表示することにより、ピンセットが激しく動くことを防ぐことがわかった。また、実験結果に基づいて医療現場におけるMRシステムの有用性と受容性を考察する。

1 はじめに

顕微鏡縫合術は脳神経外科において用いられる手術技術の1つであり、顕微鏡を用いて約1mmの脳の組織を縫合する高度な技術である。これまで顕微鏡縫合術を習得するために様々な訓練方法が研究されてきた[2, 3, 4, 6]。ガーゼ縫合と呼ばれる訓練方法は簡単に練習できるため日常的に使われる。しかしこのガーゼ縫合で技術を習得するには約10000縫合を行う必要がある[2, 3]。以前の研究では[7]、VRヘッドマウントディスプレイ(VR HMD, HTC Vive Pro)を用いた顕微鏡縫合術訓練システムを提案した。このVRシステムを用いて医学的背景のない学生に対して実験を行ったところ、VRシステムがモチベーション向上に寄与することがわかった。しかし、以前のVRシステムは医学的背景のない学生に対する実験であった。そこで実際に訓練を行う脳神経外科医に意見をもらったところ、顕微鏡の接眼レンズにカメラが固定されていること、フィードバックのタイミングが適切でないことを指摘された。顕微鏡の接眼レンズにカメラが固定されていることにより、頭部を動かすと立体視がくずれてしまうという問題があった。また、フィードバックのタイミングが適切ではないことにより、縫合の技術向上する際に混乱を招いた。これら2つの課題は脳神経外科医が訓練を行う際に非常に重要である。

そこで本論文ではビデオシースルーHMD(MR HMD, Varjo XR-3)を用いて、自由視点でのフィードバック重畳表示を可能とした、MRトレーニングシステムを提案する。本論文では脳神経外科医の指摘から要件を抽出し、システム構成を改良し、脳神経外科医が実際に技術を習得するために役立つかの実

験を行う。システム構成はユーザへ表示するHMD内の映像を固定視点から自由視点に変更し、音声認識を用いてリアルタイムフェーズ分割し、フェーズに応じたフィードバックを表示する。さらに、実際にシステムを使用する脳神経外科医を対象に被験者実験を行う。

本論文の貢献は以下の2点である。MR HMDを用いたトレーニングシステムを提案し、通常訓練と類似した環境でリアルタイムフィードバック訓練システムを可能にした。また、脳神経外科医を対象とした被験者実験を行い、MR顕微鏡縫合術訓練システムを検証した。

2 被験者実験

脳神経外科医が実際に技術を習得するために提案システムが役立つかの検証のために実験を行った。

2.1 システム実装

顕微鏡縫合術訓練の効率向上のため、フェーズに応じたフィードバックをリアルタイムに表示する縫合訓練のMRシステムを提案し、実験に用いた。

システム構成を図1(a)に示す。2台のPC、顕微鏡、顕微鏡カメラ、ビデオシースルーHMD、スピーカマイクで構成される。ビデオシースルーHMDはVarjo XR-3を用いた。器具位置やガーゼの動きはYOLOv4 [1]とオプティカルフローを用いた。

接眼レンズにカメラを固定した以前のVRシステムは脳神経外科医にとって違和感があった。そこで本論文はビデオシースルーHMDを使用し、顕微鏡を覗くことができるMRシステムに構成を変更した。本システムは音声認識 [5]を用いて新たな動作を必要とせず、既存の訓練の近い状況を実現した。フィードバックは縫合領域円、ガーゼ変位への注意文、スコアボードである。縫合領域円とガーゼ変位への注意文はループフェーズ中に図1(b)のように表示される。スコアボードは1縫合後に表示される。

Copyright is held by the author(s).

* 東京工業大学 情報理工学系

† 東京大学 医学部脳神経外科

‡ 東京大学 大学院情報理工学系研究科

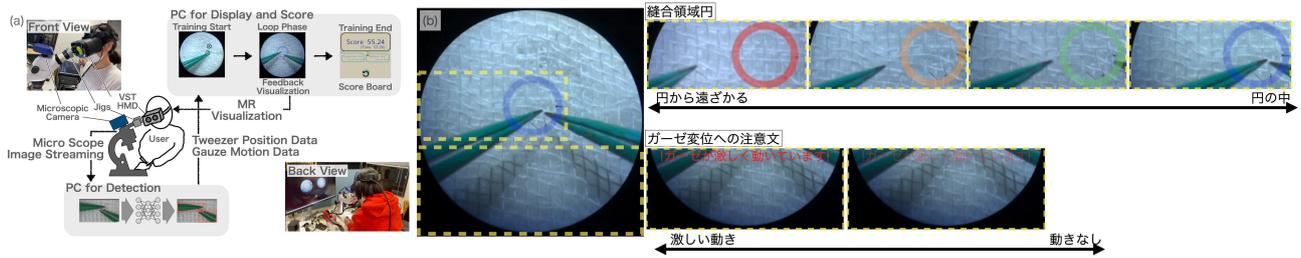


図 1. (a) システム概要. (b) システムの UI. 左ピンセットの先端が円の中にあると円が青くなり、外にあると赤くなる。また、ガーゼが激しく動くと「!ガゼが激しく動いています!」と表示される。

2.2 デザイン

本実験は提案システムが医学的背景のある中級者にも有用かを検証するために行った。本実験では提案システムを表示する条件と表示しない条件の2条件で被験者実験を行った。実験のシステム構成は図 1(a) に示すように、ユーザーは HMD を装着し、HMD のカメラを通して顕微鏡を覗いた。

2.3 参加者

本実験の対象者は医学的背景を持つ顕微鏡縫合術の中級者である。参加者は大学病院の医師で平均年齢は 31.5 歳 (SD = 4.32) の 6 名 (男性 4 名, 女性 2 名) である。顕微鏡縫合術訓練の経験は 1 名が 6 ヶ月, 2 名が 1 年, 2 名が 2 年, 1 名が 3 年であった。HMD を使用した VR の経験は 5 名がなく, 1 名が 1 年に 1 回程度またはそれ以下の経験であった。実験終了後, 参加者全員に 1 時間あたり 3000 円の参加報酬が支払われた。

2.4 実験の流れ

実験の流れは次の通りである。(1) 実験説明を受ける。(2) 提案システムで縫合練習を 10 分間行う。(3) 表示なし条件で計測用の縫合を 1 縫合行う。(4) 条件 1:10 分間または 3 縫合行う。(5) 表示なし条件で計測用の縫合を 1 縫合行う。(6) アンケートに答える。(7) 条件 2:10 分間または 3 縫合行う。(8) 表示なし条件で計測用の縫合を 1 縫合行う。(9) アンケートに答える。本実験は以下の 2 つの条件で行った。条件 D: 縫合中のループフェーズでリアルタイムフィードバックの縫合領域円とガーゼ変位への注意文が表示され, 縫合後にスコアボードが表示される。条件 N: フィードバックは表示されない。条件 1 と条件 2 は条件 D/N から無作為に選ばれる。

3 実験結果

定量評価として各条件における縫合中の左ピンセットの先端の位置の標準偏差の分析をした。分析したフェーズはフィードバックの表示があるループフェーズである。条件 N の平均値は 0.267 (std: 0.013), 条件 D で 0.224 (std: 0.031) であった。図 2(a) に各条件下のループフェーズにおける左ピンセットの先端の x 座標の標準偏差の結果を示す。対応のある t 検

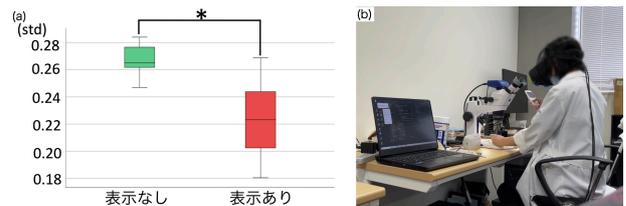


図 2. (a) ループフェーズ中の左器具先端の x 座標の標準偏差. (b) 訓練中に電話に出る様子。

定を行った結果, 有意差があった ($p = 0.04 < 0.05$). このことからループフェーズにおいて, 条件 D の方が標準偏差が小さく, 左器具が激しく動かないことがわかる。

4 議論・まとめ・今後の展望

本論文では, 脳神経外科医を対象としたリアルタイムフィードバックを行う MR 顕微鏡縫合術訓練システムを提案した。中級の脳神経外科医 6 名に実験を行い, アンケートから脳神経外科医の貴重な意見を抽出した。定量評価の結果, 提案システムではループフェーズにおける左ピンセットの動きが小さくなった。この理由は, 提案した視覚化によって被験者がより左ピンセットの動きに注意を払うためであると考えられる。

また, 実験中にビデオシースルー HMD を装着したまま電話に出る医師がいた。実験中はいつでも実験を中止することができると被験者に説明していたが, 図 2(b) に示すように, 実験を中止することなく, システムを動かしたままその場で電話の対応を行う医師がいた。電話対応後もすぐに訓練に戻り実験を続けていた。このことは, 提案システムが多忙な脳神経外科医の日常的な縫合訓練に取り入れられることを示唆している。

本論文の提案システムで使用する MR HMD は視線の収集が可能である。そのため, 視線データから得られた結果とその分析をもとに, 視線と技術習得の関係の分析を行い, スコアへの反映を検討していきたい。今回提案した可視化手法に加え, 視線を誘導するフィードバックを充実させ, より効率的な訓練の拡張を図りたい。

謝辞

本研究は JST CREST JPMJCR17A1, JST CREST JPMJCR17A3, JSPS 科研費 21K17788 の助成を受けた。

参考文献

- [1] A. Bochkovskiy, C.-Y. Wang, and H.-Y. M. Liao. Yolov4: Optimal speed and accuracy of object detection. *arXiv preprint arXiv:2004.10934*, 2020.
- [2] T. Inoue, N. Kunii, A. Kumakiri, R. Otani, A. Tamura, I. Saito, and K. Tsutsumi. The Role of 10–0 Suturing Training under Desktype Microscope for the Mastery of Cerebrovascular Surgery: The Effectiveness of 80,000 Stitches. *Surgery for Cerebral Stroke*, 37(4):247–252, 2009.
- [3] T. Inoue, K. Tsutsumi, S. Adachi, S. Tanaka, K. Saito, and N. Kunii. Effectiveness of suturing training with 10-0 nylon under fixed and maximum magnification ($\times 20$) using desk type microscope. *Surgical Neurology*, 66(2):183–187, 2006.
- [4] R. Marian-Magaña, M. V. Sangrador-Deitos, G. Y. Guinto-Nishimura, D. Ballesteros-Herrera, G. Cano-Velazquez, O. J. Canela-Calderón, J. Ríos-Zermeño, J. F. Aragon-Arreola, and J. L. Gómez-Amador. Microsurgical training through laboratory experience: A step-by-step practical guideline. *Interdisciplinary Neurosurgery*, 27:101400, 2022.
- [5] J. Shigeyama and T. Roumen. SpeechIOForUnity, 2021. <https://github.com/HassoPlattnerInstituteHCI/SpeechIOForUnity>.
- [6] M. Takeuchi, N. Hayashi, H. Hamada, N. Matsumura, H. Nishijo, and S. Endo. A new training method to improve deep microsurgical skills using a mannequin head. *Microsurgery: Official Journal of the International Microsurgical Society and the European Federation of Societies for Microsurgery*, 28(3):168–170, 2008.
- [7] Y. Tashiro, S. Miyafuji, D.-H. Hwang, S. Kiyofuji, T. Kin, T. Igarashi, and H. Koike. GAuze-Microsuture-FICATION: Gamification in Microsuture Training with Real-Time Feedback. In *Proceedings of the Augmented Humans International Conference 2023*, AHs '23, p. 15–26, New York, NY, USA, 2023. Association for Computing Machinery.