

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 2 日現在

機関番号：14301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2016

課題番号：26870322

研究課題名(和文) 深さ情報付き手術画像による可触型の術中止血訓練用バーチャルリアリティシミュレータ

研究課題名(英文) Hemostatic Simulator of Haptic Virtual Reality Training Using Surgical View Image Integrating Depth Map

研究代表者

条 直人 (Kume, Naoto)

京都大学・医学研究科・特定准教授

研究者番号：00456881

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：手術の訓練の目的は、手術手順を覚えることだけではなく、術中の状況判断と適切な処置の組み合わせにより危険な処置を回避できるようになることにある。本研究では、術中画像の上に様々な出血パターンを再現し、触覚提示デバイスを用いて直接三次元的に止血動作を実施できるシミュレータを開発した。手術画像を入れ替えることで様々な術中の状況を用いて、典型的な見落としによる出血事故を反復的に経験することができる。出血シミュレーションエンジン、出血パターン指定ツール、触覚デバイス接続の3つを達成することにより、術中状況を容易に量産できる可触型の止血シミュレータを実現した。

研究成果の概要(英文)：Purpose of surgical training is to know how to avoid fatal operation, which causes serious bleeding in operation, as well as to know the operation procedure. In this study, we developed a hemostatic virtual reality simulation, which represents an operation view with various bleeding pattern. Also, the user can perform stop bleeding using a haptic device, which realizes three-dimensional manipulation. Switching the operation view images, the simulator provides various bleeding accident pattern in the specific situation, so that the simulator provides typical pitfall experiences repeatedly. It can be concluded that this study achieved a haptic hemostatic simulator by developing bleeding simulation engine, bleeding pattern setup tool, and haptic device connector. By scoring duration of blood stanchion and the amount of bleeding, the user's progress on the counter measure to bleeding would be evaluated.

研究分野：medical virtual reality

キーワード：hemostatic simulation virtual reality haptics bleeding

1. 研究開始当初の背景

(1) 手術の訓練は容易にセットアップが可能な環境がなく、結果的に広く普及していない。

(2) 手術訓練シミュレータはトレーニングセンター等に設置されるものの金額、設置場所等の制約により常日頃利用できる環境にない。また手術シナリオの訓練や、単純な術具操作の習熟に重点を置いたシミュレータの提供にとどまっております。施術中の出血や神経の損傷といった危険な処置を生じてしまうピットフォールを事前に訓練することができていない。

(3) 医師は手術を重ねることで術中の小さな失敗から経験をつみ、結果的に重篤な事故を起こさないよう術技に習熟していく。一方で、シミュレータの中で術中の状況を再現し、なおかつ複数の失敗を教示することで、実際の手術と同等の状況判断を訓練できるようなシミュレータを構築することは、現在の三次元再構成技術が達成可能なリアリティの限界により実現が困難である。

2. 研究の目的

(1) 本研究では、簡易なセットアップにより、術中の状況をより良く反映したシミュレーション環境下で、様々なピットフォールを再現でき、なおかつ適切な処置を実施できる可触型のバーチャルリアリティ訓練シミュレータの実現を目的とする。

(2) 特に、術中で最も危険な出血がどのような状況で発生するかを再現し、それに対して出血点の探索と止血操作が可能な止血シミュレータの構築をおこなう。

3. 研究の方法

本研究では、下記の4課題を達成することで様々な術野を再現しつつ状況判断に基づいた処置を訓練可能なシミュレータを構築する。また、訓練用に出血パターンを任意に設定できるツールを提供し、技術者が不在であっても医療従事者だけでセットアップが可能なシミュレータを実現する。

(課題 A) 術野画像を用いた擬似3次元空間の構築

(課題 B) 擬似3次元空間上での出血、流血、血液貯留シミュレーションアルゴリズムの開発

(課題 C) 止血操作、血液吸引シミュレーション

(課題 D) 三次元入力デバイス連携

4. 研究成果

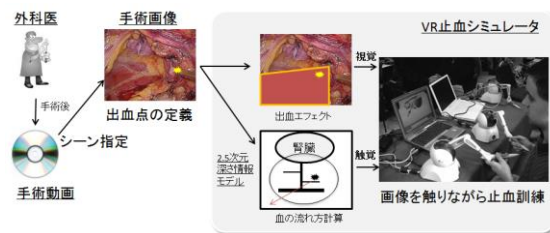


図1 訓練シミュレータの運用

(1) (課題 A)

術中の状況を全て三次元モデルで再現することは困難である。そこで、術野画像に対して擬似的に三次元を再現できるように深さ方向の情報(デプスマップ)を画像に対して与える手法を開発した。その際、臓器の前後関係を反映できるように複数のデプスマップを連携して高低差と臓器間のおクルージョンを二次元以上に再現する手法を開発した。結果的に、シミュレータ画面に表示される部分は術中画像そのものであり術中の状況をそのまま提示可能である。作成したデプスマップは可触型のシミュレータにて三次元操作デバイス(Phantom)を使って術野を触知する際の構造データとして扱うことができるようになった。

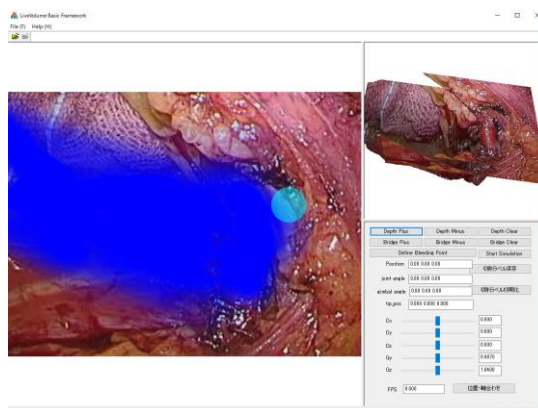


図2(a) 術野画像に対するデプスマップの作成

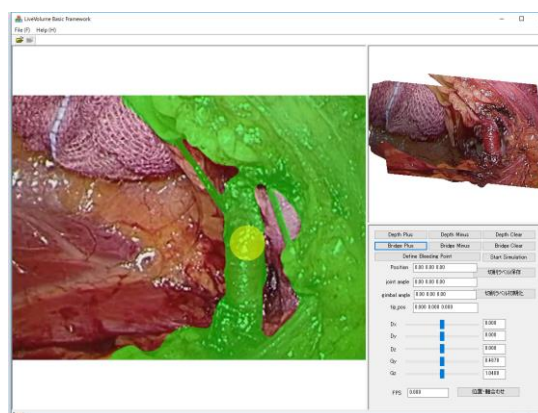


図2(b) 臓器のおクルージョンを再現する複数デプスマップの設定(上部構造)

なお、シミュレータを可触化する際の臓器の柔らかさを示すパラメータを取得するた

めに、臓器の硬さ計測を行った。Phantom が臓器部分に接触した際にどの程度の臓器変形と反力提示をおこなうか、に関して考察をおこなった。臓器変形の視覚化は困難であったが、反力提示に反映することはできる事が示唆された。

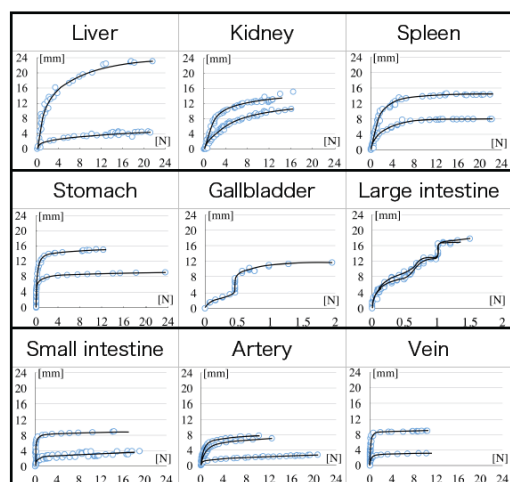


図3 臓器の押込量に応じた反力測定値(豚, 臓器別) (Sawada, 2016)

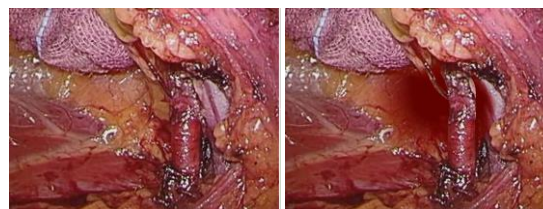
以上のデプスマップ設定を術野画像を見ながらマウス操作で簡便に指定することができるツールを開発した。任意の場所で任意のサイズの深さの増加, 減少をさせる事ができる。また, 作成したデプスマップを保存, 編集する機能を追加することで, 細かな傾斜設定も手動で設定可能なツールとした。

(2) (課題 B)

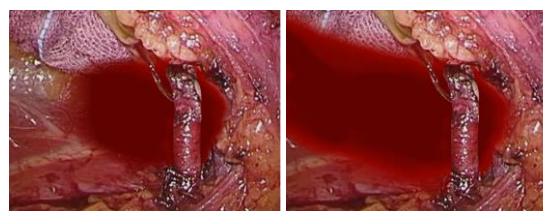
課題 A にて構築した擬似三次元空間において, 臓器表面からの出血を視覚的にどのように提示するかをアルゴリズムを構築した。はじめに, 流血に関しては, 血が流れていく道筋に添って RGB α 値を変更する方法を開発した。ここでデプスマップと重力方向から流血方向が決定される。次に, 出血点からの流出量に応じて奥行方向の底部に血液が貯留していく状態を表現できるようにした。血液の貯留量は, 出血速度とデプスマップにより与えられる擬似的深さ情報によって決定され, 視覚的に視野を血が覆っていくように表現する。術野画像視野外にも一定量の貯留が発生するものとして予めパラメータで指定できるようにした。

出血パターンは, 出血位置, 出血量, 継続時間により設定する。マウスによって出血箇所を指定できる機能を開発した。また, 訓練シミュレータとして反復練習を行うことを想定し, ランダムに出血箇所を出現させる機能を有する。止血の訓練で難しいのは, 手前の臓器で見えない奥の臓器表面を何らかの操作のときに触り出血点がどこかわからないままに出血が始まり視野が血の貯留により欠損していく状況を再現することである。出血箇所を指定した場合, シミュレーション

開始時にまさにその場所からの出血が確認出来てしまうため, 訓練の意図として, 出血点を探索によって見つけ出し素早く止血するという動作につながらない場合がある事がわかった。潜在的な出血点を設定しつつも, 出血による視野欠損がある程度広範囲に始まることで視覚的に出血点を予測できないような出血パターンの可視化アルゴリズムが必要であるとわかった。



(a) 術野原画像 (b) 血管奥からの出血



(c) 血液の貯留 (d) 視野欠損

図4 流血シミュレーション (貯留パターン)

(3) (課題 C)

ユーザの止血動作を実現するため, 仮想の臓器表面と操作点の接触判定をおこなうアルゴリズムを開発した。仮想の臓器表面は術野画像の平面上のある点においてデプスマップが与える深さ情報から生成する。操作点は, 鉗子あるいは吸引器の先端を表し, 三次元入力デバイスの入力で与えられる。止血動作では一定の圧力で臓器表面を圧迫する, あるいは吸引器により貯留した血液を除去するという2つの操作を実現した。ユーザが出血点を特定して鉗子を用いて圧迫することでさらなる出血をとめると同時に, 吸引器により血液で汚損した視野を回復する状況をシミュレーションすることができた。

実装に要した三次元入力デバイスが一台であったため, 両手を用いた環境は実現していないが, 個別に止血, 吸引動作を確認した。複数デバイスを接続することで意図した止血動作が実現可能である。

(4) (課題 D)

構築したシミュレーションに三次元入力デバイス (Phantom) を接続し, 出血箇所探索, 止血処置の一連の動作が可能なシミュレータを構築した。Phantom の先端位置がシミュレーション上で術具先端として提示され, 一定時間出血箇所を圧迫すると止血動作の完了を通知する仕組みを実現した。また, 出血箇所を変更して反復的に止血訓練を実施できると同時に, 術野画像を入れ替えることで別のピットフォールの訓練を直ちに開始で

きた。

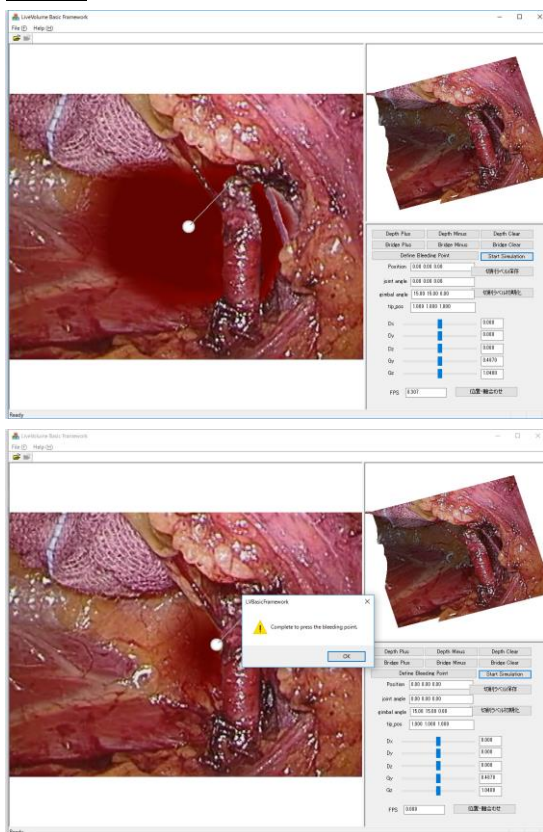


図5 Phantomを用いた止血点の探索と吸引操作の完了

(5) (成果の考察)

二次元情報を前提として触知可能な擬似三次元空間を構成するアルゴリズムの構築に時間を要し、構築したシミュレータの評価実験を十分に実施できなかった。一方で、実装した止血シミュレータは当初予定していたおりの機能の実装を完了し、訓練シミュレータとして一連の動作が可能であることを確認した。

(6) (今後の課題)

本研究では、簡便に術野を変更して様々なパターンで出血を経験しつつそれぞれに適切な止血方法を教示する環境を達成した。一方で、量産型のシミュレータとして普及するためには、どのように止血時間を設定するか、どのような出血パターンが頻出するか、典型的なピットフォールを有する術野画像のライブラリ化などを行っていく必要があると考える。そのためには、今回実施に至らなかった医師らによるシミュレータの評価をとりいれて、どのような出血はどの程度の時間で止血できなければならないか、マイクロな出血が複数箇所から発生している場合にどの出血を優先的に止めるべきか、といった訓練シナリオを整備することが求められる。

(7) (まとめ)

本研究を通じ、シミュレーション精度と三次元のリアリティを追求するシミュレータ構

築の方向性とは一線を描き、安価なデバイスの組み合わせで簡便に運用できるバーチャルリアリティシミュレータを実用に供する性能で実現するために必要なシミュレーション技術の組み合わせに関して一つの方法論を提示出来たものと考え、今後、術中のコンテンツを取り入れてリアリティを温存しつつ教示すべき内容に重きをおいた実質的な訓練環境を提供できる可触型のVRシミュレータを発展させていけるものと考える。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 6 件)

1. Kazuya Okamoto, Hiroki Kayama, Minoru Yamada, Naoto Kume, Tomohiro Kuroda, Tomoki Aoyama: Development of a system for the assessment of a dual-task performance based on a motion-capture device. The International Journal on Disability and Human Development, vol. 13, no. 3, pp. 333-336, 2014.
2. S. Kobayashi, D. Bosca, N Kume, H Yoshihara; Reforming MML (Medical Markup Language) Standard with Archetype Technology, Indian Journal of Medical Informatics, (8), 57-60, 2014.
3. 徳永達也, 糸直人, 岡本和也, 竹村匡正, 黒田知宏, 吉原博幸: 統計情報提供サービスが可能な Electric Health Record アプリケーション構築支援. Mumps, vol. 27, pp. 37-48, 2014.
4. 堀謙太, 内田祐介, 南麻弥, 内藤知佐子, 黒田知宏, 高橋秀也, 安藤昌彦, 川村孝, 糸直人, 岡本和也, 竹村匡正, 吉原博幸: 遠隔聴診の進行への聴診器操作教示システムの影響. VR 医学, vol. 12, no. 1, pp. 15-26, 2014.
5. 尾上洋介, 中尾彰宏, 糸直人, 小山田耕二, 川上浩司, 学校健康診断情報の有効活用に向けた匿名データベース構築の取り組み, 医療情報学 36(5):221-229, 2016.
6. Atsuro Sawada, Naoto Kume, Junichi Fukuda, Yoshiyuki Matsui, Koji Yoshimura, Osamu Ogawa; Development of a Novel Tool for Assessing Deformation and Hardness of Real Organs: Pressure Measuring Grasper (PMEG), Advanced Biomedical Engineering, Vol. 5, pp. 68-75, 2016.

[学会発表] (計 21 件)

1. Shinji Kobayashi, Naoto Kume, Tomohiro Kuroda, Hiroyuki Yoshihara: Designing clinical models of EHR (Electronic

- Health Records) for long-term care providers to elderly persons. Proceedings of AMIA Annual Symposium, p. 1469 (2014/11/19) Washington DC/USA.
2. 糸直人, 鈴木 賢治, 小林 慎治, 増田 健太, 黒田 知宏, 荒木 賢二, 吉原 博幸; 多施設横断研究のための共通検査結果項目マスター整備, 日本医療情報学会, 2014 (千葉)
 3. 糸直人, 平山 洋輔, 小林 慎治, 荒木 賢二, 吉原 博幸; iDolphinViewer—モバイル端末による患者向け診療情報提供サービスを有する EHR の運用, 医療情報学連合大会論文集, Vol. 34, PP. 224-225, (2014/11/06)
 4. 江川 美保, 西村 史朋, 岡本 和也, 糸直人, 森野佐芳梨, 青山朋樹, 小西郁生; “G-1 月経前症候群の外來診療におけるスマートフォン・アプリを用いた症状記録システムの開発と臨床使用”, 第 43 回日本女性心身医学会学術集会, vol. 19, No. 1, p. 95, 2014.07.
 5. 小林慎治, 糸直人, 吉原博幸; 介護分野での情報規格の開発についての試み, 第 34 回医療情報学連合大会, 千葉, (2014/11/8)
 6. 三原直樹, 松村泰志, 木村映善, 黒田知宏, 糸直人, 最首壮一, 佐藤敦; Secret Share 技術を用いた統合文書管理システム(DACS)内文書の秘密分散バックアップ環境開発. 医療情報学連合大会論文集, CD-ROM (2014/11/08) 千葉, 優秀口演賞受賞
 7. 櫻井理紗, 竹村匡正, 糸直人, 黒田知宏; 診療情報としての DPC データの openEHR へのマッピングの試み. 医療情報学連合大会論文集, CD-ROM (2014/11/06) 千葉.
 8. Kume N., Suzuki K, Kobayashi S, Araki K, Yoshihara H; Development of Unified Lab Test Result Master for Multiple Facilities, MEDINFO2015, Stud Health Technol Inform. 2015;216:1050. (San Paulo)
 9. Naoto Kume, Shinji Kobayashi, Kenji Araki, Satoshi Inoue, Hiroyuki Yoshihara; Archetype Based Nationwide Electronic Health Record Development in Japan, AMIA2015, p. 1542, 2015/11/16 (San Francisco)
 10. Kobayashi S., Kume N., Yoshihara H, Restructuring an EHR system and the Medical Markup Language (MML) standard to improve interoperability by archetype technology, Poster, MEDINFO2015, Sao Paulo, Brazil, August 23, 2015, poster
 11. 糸直人, 鈴木 賢治, 小林 慎治, 鈴木 隆弘, 荒木 賢二, 吉原 博幸; 共通検査結果マスター作成と施設間比較, 医療情報学連合大会論文集, Vol. 34, PP. 224-225, (2015/11/03)
 12. 澤田篤郎, 糸直人, 松井喜之, 吉村耕治, 小川修; Development of a novel tool for assessing deformation and hardness of real organs: Pressure Measuring Grasper (PMEG), 第 15 回 日本 VR 医学会学術大会, pp. 41-42 (2015/09/12) 京都
 13. 櫻井理紗, 竹村匡正, 糸直人, 黒田知宏; 診療行為および検査結果データの openEHR へのマッピングの試み. 医療情報学連合大会予稿集, PB-3-6 (2015/06/13) 仙台.
 14. 櫻井理紗, 竹村匡正, 糸直人, 岡本和也, 黒田知宏; DPC データの openEHR/アーキタイプへのマッパー作成の試み. 医療情報学連合大会論文集, pp.254-255 (2015/11/02) 宜野湾.
 15. Samar El Helou, Naoto Kume, Yuki Uranishi, Shinji Kobayashi, Eiji Kondo, Kazuya Okamoto, Hiroshi Tamura, Tomohiro Kuroda; Design of Archetype-based Clinical Concept Models: Towards Interoperable Antenatal Care EHR Systems. Proceedings of Joint Conference on Medical Informatics, pp.250-253 (2015/11/02) Ginowan/Japan.
 16. 小林慎治, 糸直人, 吉原博幸; MML (Medical Markup Language) 規格の概念モデル分析, 第 35 回医療情報学連合大会, 沖縄, 2015 年 11 月 2 日
 17. Kume N., Nakao A, Kobayashi S., Nakahara T., Kawakami K., openEHR Archetype Definition of Japanese School Health Checkup, Medical Informatics Europe 2016, Munchen, Germany, Aug 29, 2016 (20160828--20160902)
 18. Kobayashi S., Kume N., Yoshihara H., Designing concept models by openEHR clinical models for nation wide EHR project in Japan, Medical Informatics Europe 2016, Munchen, Germany, Aug 29, 2016
 19. El Helou S., Kume N., Kobayashi S., Kondo E., Uranishi Y., Okamoto K., Tamura H, Kuroda T., Graph databases for openEHR repositories, Medical Informatics Europe 2016, Munchen, Germany, Aug 29, 2016
 20. 糸直人, 小林慎治, Liara Tutina, Linda Bird, 吉原博幸, ワークショップ「ワークショップ 10: EHR 構築とデータの利活用のための基盤的研究と課題: gEHR の思想」、医療情報学会, 横浜, 2016 年 11 月 23 日
 21. 小林慎治, 糸直人, 吉原博幸, 特定健診

の電子的データ標準様式 (HL7 CDA) に対応した openEHR archetype モデルの開発、
第 36 回医療情報学連合大会、横浜、2016
年 11 月 23 日

[図書] (計 1 件)

1. **Kazuya Okamoto**, Hiroki Kayama, Minoru Yamada, **Naoto Kume**, Tomohiro Kuroda, Tomoki Aoyama: Development of a system for the assessment of a dual-task performance based on a motion-capture device. Paul Sharkey, Joav Merrick (Ed.), Virtual Reality: Rehabilitation in Motor, Cognitive and Sensorial Disorders, pp.49-56, Nova Publishers (2014/10/20)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

- ・ 糸 直人 (Naoto KUME)
京都大学 大学院医学研究科 特定准教授
研究者番号 : 00456881

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし

(4) 研究協力者

- ・ 澤田 篤郎 (Atsuro SAWADA)
京都大学 大学院医学研究科
泌尿器科学教室・助教
- ・ 吉村 耕治 (Koji Yoshimura)
静岡県立総合病院 泌尿器科
- ・ 中尾 恵 (Megumi NAKAO)
京都大学 大学院情報学研究科・准教授
- ・ 岡本 和也 (Kazuya Okamoto)
京都大学医学部附属病院・講師