

Patient dependent な力覚体感型手術エミュレータシステムの開発

Patient dependent surgical emulator with haptic feedback

2041006



研究代表者 筑波大学 消化器外科
(助成金受領者)
共同研究者 筑波大学 消化器外科

講 師 大 城 幸 雄
教 授 大 河 内 信 弘

[研究の目的]

これまでわれわれは、市販の 3D 画像解析ソフトを使用して CT を基に肝臓の 3D 画像を作成し「肝切除手術におけるシミュレーション・ナビゲーション」を施行してきた。最近では、実際の手術工程をよりリアルに可視化するため、肝臓の変形が可能な新肝切除エミュレータソフトを開発した。これにより手術のリハーサルが可能となり手術をより安全に施行できるようになった。さらにわれわれは、「人間と機械の調和の促進」を掲げて、力覚を統合した「力覚体感型手術エミュレータシステム」の開発を目指す。外科医の減少が危惧されているわが国において、魅力ある外科医養成システムとなる。さらにバーチャル外科手術体験として若き青少年のリクルート活動の一環として活用できる。

[研究の内容, 成果]

1. ハプティックスの統合

ソフトウェア面において、ハプティックシステムの制御プログラムに Liversim と連携する機能を開発・実装し手術シミュレータにハプティックシステムを追加することを実現した。自由度や機能性が高いシステムは、その複雑さゆえにデモの際ナビゲーターが必要不可欠である。そのためユーザーの外科医の意見を基にし



図 1

て自由度や機能を限定し、システムの信頼性、安定性を高め、またハードウェアの機構部分を目立たなくすることでデザイン性も向上させたハードウェアを開発した(図1)。

ハードウェアは平面内の2自由度の動きが可能なゲルモデルと位置測定用マーカ、振動子が内蔵されたバーチャル超音波メスとフットスイッチ及びそれらとディスプレイ等配置する筐体で構成されている。これによってゲルモデルを直接手で動かすことで Liversim 上の肝臓を動かすことが可能になった。また同時にフットスイッチを押しながらバーチャル超音波メスを動かすことで Liversim 上の肝臓を切離することが可能になった。

それらのハードウェア(図2, 3)はハーフ

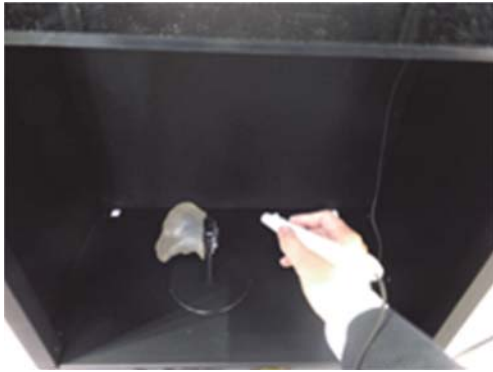


図 2

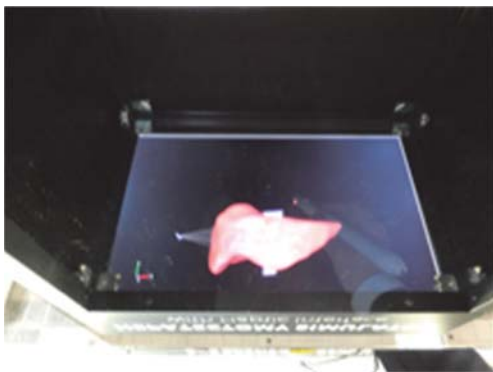


図 3

ミラーを用いて Liversim の映像が統合されておりマウス・キーボードによる操作よりも現実に近い形で手術訓練を行うことができる。

またそれらの開発成果を用いて ASIA-HAPTICS 2014 や第 115 回日本外科学会定期学術集会（図 4）においてデモ展示を行った。

その結果、肝臓を変形させるには限定された機能でもほぼ十分であることや、切離処理は入力に対する応答速度が重要であることが明らか

となった。その一方で、肝臓の回転の必要性や切離処理を重ねていくと応答が遅くなる問題が明らかとなった。これらは今後の研究開発課題となった。

2. 肝変形が可能な肝切除エミュレータソフトの改良

肝切除エミュレータソフトの改良、改善に取り組んだ。問題点として、肝臓モデルの表示法として、リアリティに欠けるという問題点があった。さらに、ユーザインタフェースが、未だ十分成熟しているとは言えず改良が必要であった。有限要素法により変形して切離する際に、切離操作が 7~8 回を超過すると四面体の数が急激に増加するため、フレームレートが極端に落ちローディングの時間が長くなるという問題があった。ローディング時間が長時間になると、リアルタイム切離処理とはかけ離れるために、改良が必要であった。また、支配領域体積の自動計算、血管切離時の表示にも、たまに計算されないなどの問題があり、改良が必要であった。よって、以下のような改良を行った。

- ・肝臓モデルの表示改善
- ・ユーザインタフェースの改善
- ・処理の高速化
- ・支配領域体積の自動計算
- ・血管切離時の表示改善

以上の改善を行い、よりリアルな切離エミュレーションの表現を可能とした（図 5）。

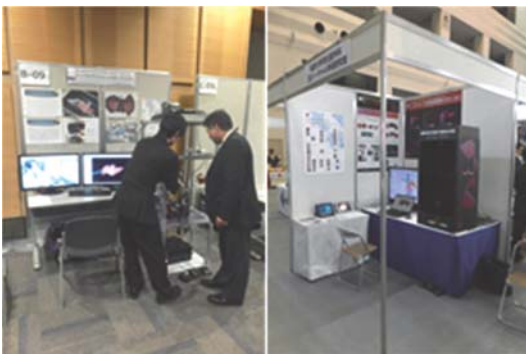


図 4

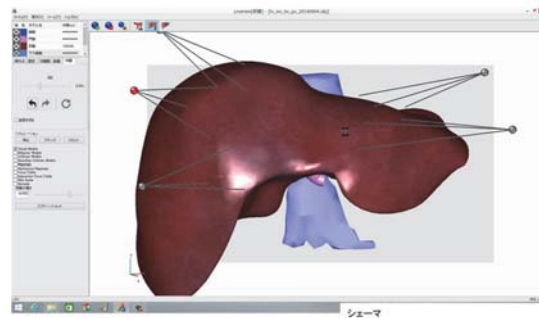


図 5

[今後の研究の方向, 意義]

当開発システムは、外科医の減少が危惧されているわが国において、魅力ある外科医養成システムとなる。さらに青少年のリクルート活動の一環として、外科体験としても活用できる。

われわれが開発した新肝切除エミュレータは、肝臓を牽引・変形して切離面の展開を表現することができ、出現してくる亜区域枝の方向、深さ、タイミングをリアルタイムに体感することが可能であり、力覚装置とインタラクションしてバーチャルリアリティを体感することができる。市販のシミュレーションソフトにはない斬新な独創的なシステムである。本研究によって術前患者の手術予行が可能となり、若手外科医であってもスムーズに手術を行える。外科医の自立が早くなり、従来であればあと3年はOJTが必要な外科医でも手術ができるようになる。これは手術可能な外科医が増えることと同義であり、実際に3年前倒しされた場合は1万人に対して2000~3000人の増強を意味する。外科業界全体の底上げにも貢献することが予想、期待される。

[成果の発表, 論文等]

論文

- 1) Yukio Oshiro, Hiroaki Yano, Jun Mitani, Sangtae Kim, Jaejeong Kim, Kiyoshi Fukunaga, Nobuhiro Ohkohchi. A novel 3-dimensional virtual hepatectomy simulation combined with real-time deformation World J Gastroenterol. in press
 - 2) 大城幸雄, 大河内信弘: “コンピュータ支援による近未来型手術エミュレーション・システム” を活用した革新的外科学教育システム構築の取り組み 日外会誌 115 臨時増刊号 (3): 24-26 2014
 - 3) Miyamoto R, Oshiro Y, et al. Three-dimensional imaging identified the accessory bile duct in a patient with cholangiocarcinoma World J Gastroenterol. 20(32): 11451-11455 2014
 - 4) Miyamoto R, Oshiro Y, Hashimoto S, Kohno K, Fukunaga K, Oda T, Ohkohchi N. Three-dimensional imaging identified the accessory bile duct in a patient with cholangiocarcinoma. World J Gastroenterol 28; 20(32): 11451-5 2014
 - 5) Hiroaki Yano, Hiromi Nagasu, Naoki Tanaka, Hideyuki Saito, Hiroo Iwata, “Development of a Portable Gait Rehabilitation System for Home-visit Rehabilitation”, Scientific World Journal (In press) 2015
 - 6) 山下貴之, 矢野博明, 岩田洋夫: LRF を用いた低自由度遠隔触知覚システムにおける形状と表面粗さの複合提示”, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌 Vol. 19, No. 4, 513-522 2014
 - 7) 2 自由度力覚提示装置による間接力覚提示. 谷口将一郎, 矢野博明, 岩田洋夫. 日本バーチャルリアリティ学会論文誌. Vol. 19 No. 4, 585-588 2014
- 発表
- 1) キム ゼジョン, 金 尚泰, 大城幸雄, 福永 潔, 宮本良一, 中山 健, 岡田俊之, 三谷 純, 伊藤正博, 大河内信弘: 医工芸連携による「iPad 用次世代型ダイナミック手術書」の開発 SAT テクノロジー・ショーケース 2015 つくば 2015-01
 - 2) 大城幸雄, 圓崎祐貴, キムゼジョン, 明石義正, 榎本剛史, 小田竜也, 金 尚泰, 工藤博幸, 滝沢穂高, 三谷 純, 岩田洋夫, 矢野博明, 掛谷英紀, 清徳省雄, 坂本堪亮, 大河内信弘: 医工芸産連携による次世代型コンピュータ外科手術支援 つくば医工連携フォーラム 2015 つくば 2015-01
 - 3) 田村宏樹, 櫻井啓子, 程 玉, 黒木吏花, 大城幸雄: 生体信号計測装置 FARG を用いた医用画像操作システムの開発 つくば医工連携フォーラム 2015 つくば 2015-01
 - 4) Miyamoto R, Oshiro Y, et al. Three-dimensional surgical simulation contributes to anatomical visualization in pancreatobiliary surgery IASGO 2014, 2014-12
 - 5) 宮本良一, 大城幸雄: 肝胆膵領域における当科での 3D 手術ナビゲーションの取り組み第 76 回日本臨床外科学会総会 郡山 2014-11
 - 6) 金 在禎, 金 尚泰, 大城幸雄, 福永 潔, 大河内信弘: タブレット端末を用いた「次世代型ダイナミック手術書」開発 第 23 回日本コンピュータ外科学会 東京 2014-11
 - 7) 宮本良一, 大城幸雄: 胆膵領域における 3D 手術シミュレーションの検討 第 9 回肝臓治療シミュレーション研究会 大阪 2014-09
 - 8) 大城幸雄: 新規肝切離 3D エミュレータ開発・導入と評価 JDDW2014 神戸 2014-10
 - 9) 大城幸雄: 腹腔鏡手術における ‘あったらいいな’ —— 次世代型 image guided laparoscopic surgery 第 27 回日本内視鏡外科学会 2014-10
 - 10) 中山 健, 大城幸雄: 筑波大学における肝切除 3D シミュレーションの取り組み 第 9 回肝臓治療

- シミュレーション研究会 大阪 2014-09
- 11) 金 在攄, 金 尚泰, 大城幸雄, 福永 潔, 大河内信弘, 三谷 純, 伊藤正博: 次世代型ダイナミック医学書コンテンツ開発への試み, 日本デザイン学会 第 61 回春季研究発表大会, 福井工業大学 2014-07
 - 12) 大城幸雄, 大河内信弘: “コンピュータ支援による近未来型手術エミュレーション・システム”を活用した革新的外科学教育システム構築の取り組み 第 114 回日本外科学会 京都 2014-04
 - 13) 大城幸雄: 「医工芸産連携による次世代型コンピュータ外科手術支援と革新的外科教育システムの構築」第 80 回 つくば科学・技術産業イニシアティブ (Tsukuba Science and Technology Industry Initiative: TSTI) 2014-08
 - 14) 大城幸雄: 臓器抽出, モデル作成から肝変形までを実現した肝切除エミュレータ「Liversim」の開発と展開 第 69 回日本消化器外科学会総会 2014-07
 - 15) 大城幸雄: 血管抽出, モデル生成からリアルタイム切離までを実現した肝切除エミュレータの開発と運用 第 26 回日本肝胆膵外科学会 和歌山 2014-06
 - 16) 大城幸雄: リアルタイム肝変形が可能な肝切除 3D エミュレータ開発と使用経験 第 50 回日本肝癌研究会 京都 2014-06
 - 17) K Nakayama, Y Oshiro, R Miyamoto, K Kohno, S Hashimoto, K Fukunaga, T Oda, N Ohkohchi The effect of three-dimensional preoperative simulation on liver surgery APASL プリスペン 2014-03
 - 18) 中山 健, 大城幸雄: 肝切除 3D シミュレーション導入の効果」第 114 回 日本外科学会 京都
 - 19) 中山 健, 大城幸雄: 肝切除 3D シミュレーション画像の pit fall が考えられた 1 例 第 26 回 日本肝胆膵外科学会 和歌山
 - 20) Y. Enzaki, H. Yano, Y. Oshiro, J. Kim, S. Kim, H. Iwata, N. Ohkohchi, “Development of the haptic device for a hepatectomy surgery simulator”, Asia Haptics, p. 35, Tsukuba, Japan 2014-11
 - 21) Haptic Interface for Shape and Texture Recognition of Remote Objects by Using a Laser Range Finder. Yamashita, Y. Yano, H. Iwata, H. Asia Haptics 2014, Tsukuba 2014-11
 - 22) Ryoichi Miyamoto, Yukio Oshiro, Shinji Hashimoto, Ken Nakayama, Keisuke Kohno, Kiyoshi Fukunaga, Tatsuya Oda, Nobuhiro Ohkohchi 『Three-Dimensional Surgical Simulation before Pancreatectomy.』日本肝胆膵外科学会学術集会, 和歌山 2014-06
 - 23) 宮本良一, 大城幸雄, 橋本真治, 中山 健, 高野恵輔, 福永 潔, 小田竜也, 大河内信弘: 隣切除術における 3D 手術シミュレーションの手術成績への寄与 日本消化器外科学会総会 郡山 2014-07
 - 24) 宮本良一, 大城幸雄, 中山 健, 高野恵輔, 橋本真治, 福永 潔, 小田竜也, 大河内信弘: 胆膵領域における 3D 手術シミュレーションの検討 肝臓治療シミュレーション研究会 大阪 2014-10
 - 25) 宮本良一, 大城幸雄, 中山 健, 高野恵輔, 橋本真治, 福永 潔, 小田竜也, 大河内信弘: 肝胆膵領域における当科での 3D 手術ナビゲーションの取り組み 日本臨床外科学会総会, 郡山 2014-11
 - 26) 宮本良一, 大城幸雄, 中山 健, 高野恵輔, 橋本真治, 福永 潔, 小田竜也, 大河内信弘: 肝胆膵領域における当科での 3D 手術ナビゲーションの取り組み 茨城外科学会 (1 月, 茨城県阿見)
 - 27) 大城幸雄: 医工芸産連携による次世代型コンピュータ外科手術支援 第 11 回色材 IT (インクジェットテクノロジー) 講座 東京都 2014-12
 - 28) 大河内信弘: IT 利用ナビゲーション外科手術と周辺技術 つくばサイエンスアカデミー情報交換会 つくば 2014-02
 - 29) 大城幸雄: 本特別プロジェクトについての概要 筑波大学バーチャル手術シミュレーションプロジェクト第 3 回講演会 つくば 2014-2
 - 30) 大河内信弘: IT 利用ナビゲーション外科手術と人材育成 つくばサイエンスアカデミー情報交換会 つくば 2014-07
 - 31) 大河内信弘: IT 利用ナビゲーション外科手術と人材育成 東京大学工学部化学科同期会講演会 つくば 2014-07
 - 32) 大城幸雄: 医療現場とサイエンス～コンピュータ外科が拓く明日の未来へ～ スーパーサイエンスハイスクール出前講義 筑波大学附属駒場中学校 つくば 2014-02
 - 33) 中山 健: 医療現場とサイエンス～コンピュータ外科が拓く明日の未来へ～ スーパーサイエンスハイスクール講義 山形県立鶴岡南高校 つくば 2014-03
 - 34) 宮本良一: 医療現場とサイエンス～コンピュータ外科が拓く明日の未来へ～ スーパーサイエンスハイスクール出前講義 筑波大学附属高校 つくば 2014-05
 - 35) 大城幸雄: 医療現場とサイエンス～コンピュータ外科が拓く明日の未来へ～ スーパーサイエンスハイスクール出前講義 筑波大学附属駒場高校 つくば 2014-07
 - 36) 大城幸雄: みらいの手術を体験しよう! 3D バーチャル手術シミュレーション 第 26 回ミーツサイエンス つくばエキスポセンター つくば 2014-08