



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Development of machine learning-based skill assessment system for laparoscopic surgery using motion-capture [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	海老名, 光希
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(情報科学)
Dissertation Number	甲第16018号
Issue Date	2024-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/92418
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Koki_Ebina_review.pdf, 審査の要旨



学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称 博士 (情報科学) 氏名 海老名 光希

審査担当者 主 査 教 授 近野 敦
副 査 特任教授 金井 理
副 査 客員教授 多田 充徳
副 査 准教授 安部 崇重 (北海道大学・大学院医学研究院)

学位論文題名

Development of machine learning-based skill assessment system for laparoscopic surgery using motion-capture

(モーションキャプチャを用いた腹腔鏡手術のための機械学習による技量評価システムの開発)

腹腔鏡手術は、腹部を小さく複数箇所切開し、その穴から鉗子等の手術器具を挿入して手術を行う術式で、開腹手術と比較すると切開が少なく患者への負担が小さいため、術後疼痛や感染症の低減、回復期間の短縮等が期待でき、消化器外科、泌尿器外科での手術において、近年盛んに行われるようになった。しかし術者は直接患部を見ることはできず、モニターに映し出される内視鏡映像を見ながら手術を行うことになるため、視覚座標系と手元座標系の不一致や視野の狭さ、奥行き感の消失等で、術者には高度な技量が要求される。若手外科医師の手術トレーニングのために、腹腔鏡手術トレーニングボックス内に臓器樹脂模型や動物臓器を入れて模擬手術を行うことが広く行われてきた。

しかし、術者の手術技量を定量的に判断する手段がなく、これまで若手外科医師は熟練者の手術技量を見よう見まねで覚えるか、熟練者の指導により手術技量を向上させてきた。現在、医師不足や労働時間短縮の流れから、熟練医が若手外科医師の訓練または指導に割ける時間が減少しており、AI等を活用した効率的な外科手術教育法への要求が高まっている。

本論文は以上の問題を解決するために、腹腔鏡手術を対象として手術器具の動作から手術技量を数値化し、どのような点が優れ、どのような点が不十分なのかを AI で判断し訓練者に提示する効率的な腹腔鏡手術訓練法を提案するもので、全編 8 章からなる。

第 1 章は序論であり、本研究の背景および目的を述べている。

第 2 章では、手術技量を数値化するために、複数の手術器具の動作をモーションキャプチャーと呼ばれる光学式物体追跡装置で計測し、また把持鉗子にひずみゲージを貼り臓器を把持する力を計測するシステムについて述べている。

第 3 章では、第 2 章で述べた手術器具動作計測システムを用いて、外科医師および医学生 70 個人に腹腔鏡手術トレーニングボックス内でのブタ臓器に対する模擬手術を行ってもらい、その際に計測された実験データを解析し、開発した手術器具動作計測システムが有効に機能していることを確認している。また、モーションキャプチャー装置で手術器具の動作を計測するために手術器具一つ一つに固有の赤外線反射マーカーセットを取り付けているが、模擬手術の参加者全員にマーカーセットを取り付けた手術器具の使用感についてアンケートを行い、取り付けたマーカーセットが手術の邪魔にならないことを確認した。第 2 章で原理を述べ、第 3 章で有効性および操作感を確認した手

手術器具動作計測システムは、単に手術技量の評価に使われるのみだけでなく、今後、実際の手術の記録や手術ナビゲーションへと応用される可能性を秘めており、大変重要な成果である。

第4章では、第2章、第3章で述べた手術器具動作計測システムを、実際の手術室でも使えるように改良したシステムについて述べている。第2章、第3章で述べた手術器具動作計測システムでは、術者を取り囲むようにモーションキャプチャーカメラを配置していた。しかし実際の手術室では患者を助手や器械出し看護師等が取り囲むため、術者を取り囲むようなカメラ配置では手術器具がそれら補助者に隠されて計測できない。しかしこのような場合でも、腹腔鏡手術では術者にとって内視鏡モニター方向の視野は必ず確保されるために、内視鏡モニター上方に3眼カメラを配置して手術器具に取り付けたマーカーを追跡するシステムを提案し、その計測精度と計測成功率について実験で検証している。また、マーカーの追跡に失敗した場合に、慣性計測装置 (IMU) の計測データから追跡データを補完する手法を提案している。

第5章では、第4章で述べた手術器具動作計測システムを用いて、カダバー (ご遺体) を使った手術訓練において、手術器具動作の計測を行った実験について述べている。実際の手術に極めて類似性の高い環境で開発した手術器具動作計測システムの有効性を確認したことは、手術の記録や手術ナビゲーションへの応用へと道を開くことになり、極めて有用な成果である。

第6章では、腹腔鏡手術トレーニングボックス内でのブタ臓器に対する模擬手術で、手術器具動作から抽出した特徴量を用いて、初級者、中級者、上級者の技量を分析している。

第7章では、第6章で分析した特徴量を用いて、機械学習を用いて手術器具動作から初級者、中級者、上級者を判別するシステムについて述べている。また、模擬手術の技量を熟練医が点数で評価した GOALS 評価を教師信号として用い、機械学習を用いて手術器具動作から GOALS 評価を生成するシステムについて述べている。さらに模擬手術において、機械学習による手術技量評価を、どうしてそのような評価となったかの説明とともに術者に提示するシステムを開発した。手術技量を AI で自動判別し説明とともに術者に提示することは、外科手術教育にとって飛躍的に効率性を高める効果が期待でき、極めて重要な成果である。

第8章は結論である。

以上要するに、本論文は腹腔鏡手術において、術者の技量を数値化しその評価理由とともに術者に提示するシステムを提案したもので、本成果により外科手術教育の効率が飛躍的に高まることが期待できること、手術器具動作計測システムの、今後の手術記録や手術ナビゲーションへの発展が期待できることを考慮すると、システム情報科学、および医工学の発展に寄与するところ大である。

よって著者は、北海道大学博士 (情報科学) の学位を授与される資格あるものと認める。