

令和 5 年 5 月 25 日現在

機関番号：14501

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2020～2022

課題番号：20K23349

研究課題名（和文）外科手術手技の定量化・客観的評価による効率的習熟支援システムの開発

研究課題名（英文）Skill learning support system

研究代表者

山口 智子（Yamaguchi, Tomoko）

神戸大学・未来医工学研究開発センター・特命講師

研究者番号：40879970

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,000,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、これまで定性的に伝えられていた外科手術手技を定量化して把握可能なシステムを開発することで手術手技習熟支援の実現を目指した。成果として、内視鏡下副鼻腔手術を対象に熟練医手技モデルを構築し、それとの比較評価による手技課題自動特定システム開発を行った。また、脳腫瘍摘出術において、時間同期した複数の術中情報を統合的に分析し、術後麻痺発生の可能性がある処置位置をMRI画像上にマッピングするシステムを構築した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究により、術中に得られる情報を分析し、手術手技を定量的に把握する手法を提案することができた。外科手術領域ではこれまでの技能伝承は熟練医の経験や勘に依存した主観的・感覚的なものであった。本研究成果は臨床環境下における手技定量化や評価手法として学術的意義が高いといえる。本提案システムが実現した暁には、指導にかかる負担やばらつき低減が期待でき、また手技データベース構築によるAI手術ロボット開発の一助になると考えられる。

研究成果の概要（英文）：In this study, we aimed to develop a system to quantitatively understand surgical techniques that have been qualitatively communicated in the past, and to realize support for surgical skill training. As a result, we developed a model of skilled surgeon's technique for endoscopic sinus surgery, and developed a system for automatic identification of procedural problems by comparing with the novice model. In brain tumor resection, we developed a system to map on MRI images the position of the procedure that may cause postoperative paralysis, based on an integrated analysis of time-synchronized intraoperative information.

研究分野：医用システム

キーワード：手術手技定量化 手術工程解析 手術手技習熟支援

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

### 1. 研究開始当初の背景

医療技術の発展に伴う外科手術手技の高度化・複雑化は著しい。また、外科領域における若手医師の志望者数減少・医師の過重労働は喫緊の課題である。安全で確実な手術を行うには未だ外科医の技量に依るところが大きく、効率的な手技習熟支援が求められている。しかし現状の教育は熟練医によって主観的に行われており、この場合、熟練医の裁量によって判断や指導内容が異なるため技術習得の効率が変わり医師の手技にばらつきが生じるうえに、熟練医の負担が大きいのが問題である。マンパワーが不足している現在の外科医療現場においていち早く独り立ちできる医師を増やすとともに、熟練医の教育にかかる負担軽減を達成する必要がある。

これまでに妥当性・信頼性のある客観的な評価を行うため、手技を定量化する研究が多数報告されているが、非臨床かつ結紮等の基本的な一部の手技を対象としたものが圧倒的に多い(H.I. Fawaz et al., MICCAI 2018)。既に開発・発売されている手術シミュレータなども特定手技の評価は可能であるが手術全体の技量を表したものではない。非臨床環境のみでは実際の手術に必要な技術を完全に習得するのは難しいため、臨床環境での手術全体を通した客観定量的な手技特徴把握によるエビデンスに基づいた手技習熟支援が求められている。

### 2. 研究の目的

本研究は臨床環境での客観的な習熟支援の実現を目指し、臨床環境において手術全体を通し自動で手術作業情報を取得、定量化して手技特徴を把握及び評価するシステムを開発することを目的とした。

### 3. 研究の方法

本研究では臨床環境下において手術全体を通し自動で術具軌跡情報や解剖学的情報等の手術作業情報を取得、定量化して手技特徴の把握や評価が可能なシステムを構築することを目指した。本研究を実施するにあたり、外科医他への負担や現状の手術環境への影響を最小限に手術作業情報を取得することとした。また、評価の際には熟練医の手技を模倣することは技能向上に極めて重要なため、熟練医との差を判断基準とした。具体的には以下の2つの研究を行なった。

#### (1) 内視鏡下副鼻腔手術における作業情報を基にした時系列的な手技特徴分析手法の開発

内視鏡下副鼻腔手術は副鼻腔炎の治療法として年間約 30,000 件以上実施されており、ナビゲーションシステムの導入率は 92.9%と高い。しかしながら隣接する目や脳などの重要機関の術中副損傷や術後合併症のリスクが高く、その発生報告もある。この手術は術者が左手に内視鏡、右手で術具を操作しながら行うソロサージェリーであるため、術中の指導もリスクが高く、かつシミュレーター等のトレーニング装置も充実していない。そこで、術中の情報を用いて効率的かつ定量的に手技を把握・評価し習熟支援を行う必要がある。

本研究では手術ナビゲーションシステムをフライトレコーダーのように用いて術中の術具の位置情報を自動取得・分析し、4つに細分化した手術工程ごとの定量的な技能評価と教示システムの構築を行った。各工程における時系列的な特徴を定量的に捉えるために手術作業の過程や推移をモデル化する手法を用いて、熟練医の標準工程モデルを作成しそれと非熟練医を比較することで手技課題を抽出する手法を構築し(図1)、その有用性を検証した。

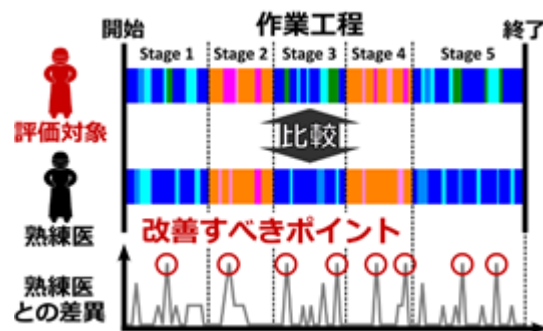


図1 時系列的に手技課題を抽出する手法の概要

#### (2) 脳腫瘍摘出術における術後麻痺発生リスクマップの作成システムの構築

運動機能を有する領域に近いところにてきた脳腫瘍を摘出する際には、神経機能の状態をモニタリングしながら手術が遂行される。術後麻痺の発生と術中の MEP 値には関連性があることがこれまでの研究で示唆されている。しかし、これまでは脳の施術箇所と術中 MEP 値はそれぞれ別々に取得され、その関連は術者自身の頭の中で組み合わせて手術に臨んできたため、その経験や知識、勘は暗黙知となっている。そこで、本研究ではその部分を可視化することを目指した。

本研究ではまず、MEP 減衰率と振幅値に基づき術後麻痺リスクランクを設定した。そして、手術ナビゲーションシステムの術具位置情報と術中神経モニタリング情報 (MEP) を時間同期した上で取得し、それらの情報を組み合わせて術中 MRI 画像上にリスクランクに応じて色分けしてプロットした。具体的には、ある MEP 値と、その値になる直前に施術していた箇所とを対応づけるようにした。このマッピング作業を個人の MRI 画像に行ない個人脳リスクマップを作成した後、その情報を患者間で比較するために標準脳リスクマップへと変換する手法や、複数症例のデ

ータから作成した標準脳リスクマップを個人脳リスクマップへ変換する手法の検討を行った。

#### 4. 研究成果

##### (1) 内視鏡下副鼻腔手術における作業情報を基にした時系列的な手技特徴分析手法の開発

延べ 38 症例の臨床症例データを用いてシステムの有用性を検証した。その結果、303 箇所の手技課題が抽出された。その部分の内視鏡映像を熟練医とともに確認したところ、11 箇所が過剰検出であったものの、その他は危険な操作を伴う手技であったことが判明した。また、本手法で見逃していた手技課題は 3 箇所あったことも確認した。

以上より、本提案手法によって手技改善箇所の自動検出の可能性やその妥当性が示唆され、より効率的な手技習熟支援への活用が期待できる。

##### (2) 脳腫瘍摘出術における術後麻痺発生リスクマップの作成システムの構築

図 2 左に個人脳リスクマップの作成結果の例を 2 症例分しめす。上段が、術後麻痺が出なかった症例、下段が、術後麻痺が生じた症例である。また、これらを標準脳にそれぞれ変換した、個人標準脳リスクマップの作成結果を図 2 右に示す。図 3 の右は、本研究の対象とした 27 症例の個人脳リスクマップを重ね合わせて作成した標準脳リスクマップである。図 3 左は、27 症例のうち麻痺が出なかった症例 17 症例分を統合した標準脳リスクマップ、図 3 中央は、術後麻痺が出た 10 症例分を統合した標準脳リスクマップである。図 4 は、標準脳リスクマップを個人脳へ変換を行った結果の 1 例を示す。

図 2・3 からわかるように、MEP が術中に低下しても術後麻痺がない、またその逆の症例が存在した。また、図 2~4 に示したのは一部であるが、個人脳から標準脳への変換、統合標準脳から個人脳への逆変換などで脳の過度な変形が出る恐れもあったが、我々が見る限り、そのようなことは起きていなかった。

脳腫瘍摘出術については術前の段階から腫瘍と運動機能の局在について評価し、術前に綿密な戦略をたてるが、運動野に近くない場所を処置した場合でも麻痺になる可能性があることが経験的にわかっている。本提案手法によりリスクマップを作成することで、運動野近傍に発生した神経膠腫の手術における、運動野を傷害した以外の要因で起こる麻痺の原因や術中に MEP が低下しても問題がない可能性が高いエリアを提示できることが示唆された。これにより、術前のより精度の高い戦略立案や術中の意思決定支援、医師の技能習熟支援等への一助となると考えられる。

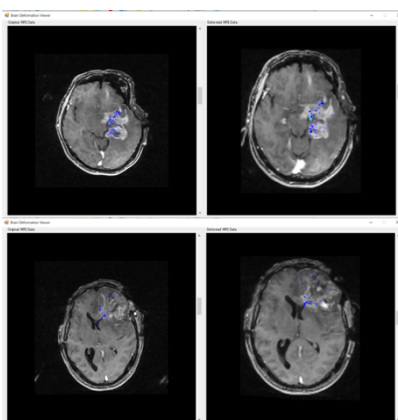


図 2 左列：個人脳画像のリスクマップ，右列：標準脳リスクマップ。また、上段が術後麻痺が出なかった症例、下段が術後麻痺が生じた症例である。

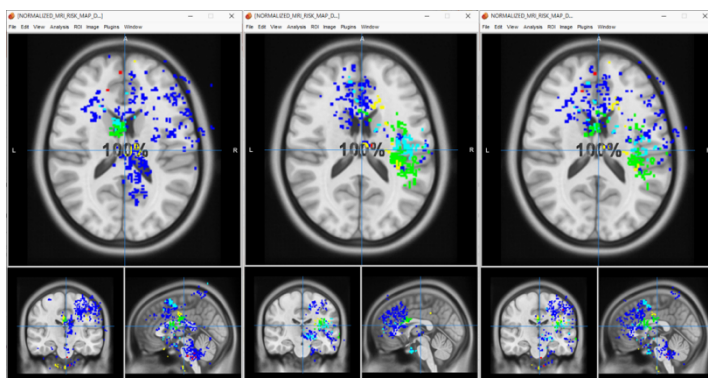


図 3 標準脳リスクマップの作成結果。右：全 27 症例，左：術後麻痺発生なし（17 症例），中央：術後麻痺発生あり（10 症例）。リスクランクの色の設定は Safe:Blue, Attention:Light Blue, Caution:Green, Warning:Yellow, Danger:Red となっている。

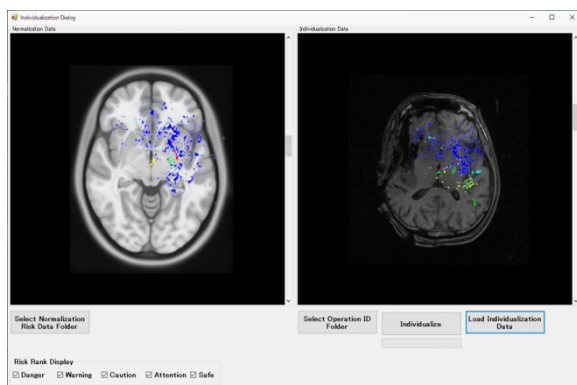


図 4 標準脳リスクマップから個人脳への変換結果 1 例

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Yamaguchi Tomoko, Nakamura Ryoichi, Kuboki Akihito, Otori Nobuyoshi	4. 巻 12
2. 論文標題 Clinical study of skill assessment based on time sequential measurement changes	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 6638-6647
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-022-10502-7	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Yamaguchi Tomoko, Kuwano Atsushi, Koyama Toshihiko, Okamoto Jun, Suzuki Shigeyuki, Okuda Hideki, Saito Taiichi, Masamune Ken, Muragaki Yoshihiro	4. 巻 18
2. 論文標題 Construction of brain area risk map for decision making using surgical navigation and motor evoked potential monitoring information	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery	6. 最初と最後の頁 269 ~ 278
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11548-022-02752-7	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 T. Yamaguchi
2. 発表標題 Integration analysis of surgical navigation and motor evoked potential monitoring
3. 学会等名 The 36th International Congress on Computer Assisted Radiology and Surgery (CARS2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山口智子
2. 発表標題 脳神経外科手術における術中情報を用いた術後運動機能障害リスクマップ作成
3. 学会等名 第30回日本コンピュータ外科学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山口智子、中村亮一、久保木章仁、澤野悠一郎、江幡龍、鴻信義
2. 発表標題 内視鏡下副鼻腔手術における手術工程解析による手技課題抽出手法の開発
3. 学会等名 第29回日本コンピュータ外科学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山口智子
2. 発表標題 外科支援および手術習熟支援システムの開発
3. 学会等名 第10回未来大学メディカルICT研究会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関