

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 14 日現在

機関番号：12701

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2014

課題番号：25540099

研究課題名(和文) 覚醒下脳外科手術の事象解析とモデル化に関する研究

研究課題名(英文) A study on analysis and modeling of awake brain surgery

研究代表者

長尾 智晴 (NAGAO, Tomoharu)

横浜国立大学・環境情報研究科(研究院)・教授

研究者番号：10180457

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、覚醒下脳外科手術における執刀医の意思決定システム開発のための手術記録映像に対する解析とモデル化を目的とした研究を行なった。研究代表者と協力関係にある東京女子医科大学の伊関教授と村垣教授のグループで記録された覚醒下脳外科手術映像を対象として、特に皮質マッピングプロセスの解析と情報資源化を行った。その結果、医師による脳の電気刺激プロセスや患者の応答などを自動解析する画像・音声情報処理技術の開発に成功した。

研究成果の概要(英文)：Analyzing and modeling methods of recorded surgery video were developed for decision making system for doctors in "awake brain surgery". Awake brain surgery videos recorded by the group supervised by Prof. Iseki and Prof. Muragaki of Tokyo Women's Medical University, who are the cooperative partners of the study representative, were used. Especially, Cortical mapping processes of the videos were analyzed and their information utilization was performed. As the results, image and acoustic processing techniques were successfully developed for automatic analysis of the doctor's electrical stimulation and patients' reactions.

研究分野：知能情報学

キーワード：医用画像処理 覚醒下手術 画像認識 音声情報処理 データマイニング 自動インデクシング

1. 研究開始当初の背景

脳腫瘍を摘出する外科手術では、脳腫瘍の何%を切除することができるかが、患者の余命年数に大きく影響を及ぼすため、限界まで大きく切除することが望まれる。一方、言語野や運動野付近の腫瘍の場合、切除領域を誤ると術後に言語障害や歩行障害などの障害が残る恐れがある。そこで近年、脳腫瘍摘出術に覚醒下手術が導入され始めている。この“覚醒下脳腫瘍摘出術”では、麻酔状態で患者の頭部を開頭して脳を露出させた状態で一旦患者を覚醒状態にし、脳の各部位に医師が電極を当てて電気刺激をしながら、言語能力や運動能力を問う質問を患者にすることで機能野の位置を確認し、切除領域を正確に決定する。この手術では術後の障害を避けつつ脳腫瘍を限界まで切除できるとともに、切除範囲などについて患者の確認を取りながら手術を行うことができるという長所がある。患者も自分が手術に参加したという意識があるため、万一障害が残った場合でも前向きにリハビリに励むことができる。このため、覚醒下脳腫瘍摘出術は患者の満足度が高く、この手術を取り入れる病院が増えつつある。一方、覚醒下脳腫瘍摘出術における機能野特定(“皮質マッピング”)には執刀医の経験と勘が必要であり、若い医師が担当することは難しいとともに、方法を知識として蓄積することが難しい。このため、この覚醒下脳腫瘍摘出術の熟練医師のノウハウを情報技術によって情報資源化することが期待されている。

2. 研究の目的

本研究の目的は、覚醒下脳腫瘍摘出術における執刀医の意思決定システム開発のための手術事象の解析とモデル化の手法を開発することである。本研究を実施するためには、覚醒下脳腫瘍摘出術を実際に行なっている医師の協力が必要不可欠である。本研究では、幸いなことに、協力関係にある東京女子医科大学先端生命医科学研究所(TWINS)の伊関教授・村垣教授らのグループに全面的なご協力を得ることができた。TWINSではこれまでに数百例に及ぶ覚醒下脳腫瘍摘出術の実施例の蓄積があるとともに、手術を様々な計測値や動画などを統合した IEMAS と呼ばれる手術統合記録動画として記録している(図1)。

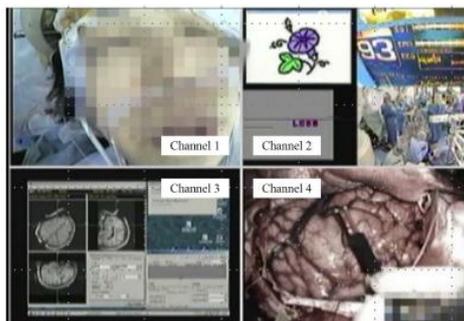


図1 IEMAS の記録動画像の例

この動画像には、執刀医の手元の画像(右下の画像)、患者の顔の画像(左上の画像)、MRI画像データ(左下の画像)などを画面分割して統合した動画像と各センサの時系列情報が含まれており、手術中に、誰が何をどのように行なったか、また、そのときの患者の応答や状態はどうであったかが記録されている。これまでに数百例に及ぶ記録がある。しかしながら、それらを解析することはほとんど行われておらず、解析の自動化を通して知識の資源化が必要とされていた。

本研究では、数百例にも及ぶ記録された IEMAS 動画像を対象にして、医師の皮質マッピングにおける暗黙知の形式知化、電気刺激に対する患者の応答その他を画像・音声情報処理技術によって行うことで、覚醒下脳腫瘍摘出術を解析することを目的とする。

3. 研究の方法

本研究は平成25年度から26年度にかけて行われた。本研究の方法について平成25年度と平成26年度に分けてそれぞれ次に示す。

(1) 平成25年度の研究方法

平成25年度は、手術中のヒト・コト・モノの事象を、既に記録された手術記録動画像から自動抽出・解析するための画像・音声情報処理を開発する。始めに、執刀医が患者の脳表面に電極を押し付けて電気刺激を与えている動画像から、刺激位置を検出する動画像処理を開発する。また、刺激位置が脳表面の皮質のどの部分であるかの対応関係を求める。さらに、電気刺激と同時に患者に与えられる提示刺激(言語系・運動系タスク)に対する患者の応答を主として音声情報処理によって自動抽出する。

(2) 平成26年度

平成26年度は、執刀医の意思決定モデルと患者の精神状態・疲労度・病態の変化モデル、を中心にして研究を進める。前者では、皮質マッピングにおいてどの部位をどのような順序で電気刺激することでマッピングを行うことが一般的か、また患者の応答(正解/不正解、応答速度など)と次の刺激との関係などを調べることで、執刀医の意思決定の方法をモデル化する。既に記録されている数百例の手術データの一部を学習用データとして用いてモデルを構築し、学習に用いなかった未知データに適用して性能を評価する。後者の患者の精神状態・疲労度・病態の変化モデルでは、患者の話す内容や声質、応答速度、心拍数などのバイタルデータから、患者の精神状態やストレスの大きさなどの時間的変化を推定することができるようにする。

各年度とも、研究成果は国内学会(全国大会や研究会)、国際会議、学会正論文などで積極的に公表することで、研究成果の社会への速やかな還元を目指す。最終年度に、2年間の本研究の研究期間の総括を行なう。

4. 研究成果

研究項目ごとの成果を次にそれぞれ示す。

(1) 皮質マッピングの位置検出処理

電気刺激を行なっている IEMAS 動画像の右下の部分の動画像から、医師が持つ電極部を含む黒い領域を抽出後、先端の電極の位置を検出した例を図2に示す。ここでは、電極の形状を基にしたパターンマッチングを行ったが、複数の異なる手法をそれぞれ行なって得た位置の多数決をとることによって、100%の認識制度で電極の位置を正確に決定することができた。



図2 電気刺激位置の検出例

図2のように電極の位置だけでなく、医師が電極をその位置で押しつけて電気刺激を行なっているかどうかについて決定する必要がある。そこで、動画像の各フレームのオプティカルフロー（移動ベクトルの分布状態）を求め、電極部を押し付ける動作を検出することで、電気刺激の有無を決定した。

図3に例を示す。図3(a)の frame i と j の速度ベクトルの違いから、 j が電気刺激を行なっている（電極を押し付けている）フレームであることを正しく認識することができている。これにより、電極の位置を検出・追尾しつつ、電気刺激を行った画像上の位置と時刻を自動検出することが可能になった。

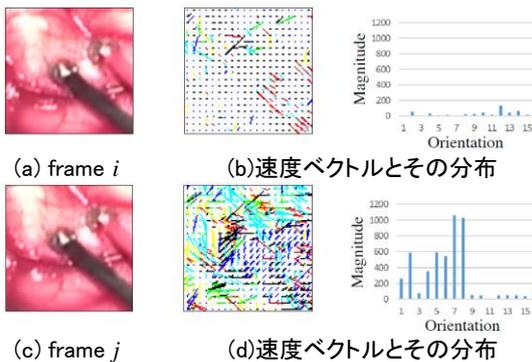


図3 電気刺激の有無の検出例

手術は長時間を要するため、接写用カメラの画角が変わることがある。このため、画像が異なる間での対応関係を決める必要が生じることがわかった。そこで、動画像中の各フレームにおける電気刺激位置を、共通に参照する参照画像に写像する方式を開発した。図4に実行例を示す。これにより、接写用カメラの角度や画角などが変化してしまった場合であっても、その手術の最初から最後まで電気刺激位置を安定して自動検出することができるようになった。

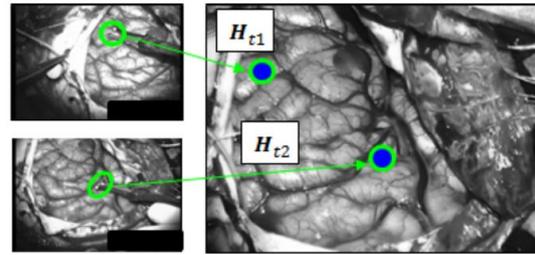


図4 電気刺激位置の検出例

(2) 音声情報処理による患者音声の解析

IEMAS には手術中の音声も同時に記録されており、皮質マッピング中に医師が患者にかけている声や、それに対する患者の応答音声が記録されている。手術中に会話がない時間帯も長いため、始めに会話部分を自動検出する方式を開発した。始めに音声波形に対する短時間 DFT (Discrete Fourier Transform) を実行して周波数解析を行い、各フレームの M 次元 MFCC (Mel-scale Frequency Cepstrum Coefficient) 特徴ベクトルを求めた。この特徴量から、会話部分を抽出後、それが患者の声であるか、執刀医の声であるかを分析した。図5にそれぞれの声のスペクトログラムの違いを示す。また、その違いを用いて患者の声の音声部分（セグメント）ごとの認識率を表1に示す。手術中に発生する機械音などのノイズの影響により、100%の認識率は達成できなかったが、約80%程度の認識率を達成することができ、実用上充分であることを確認することができた。

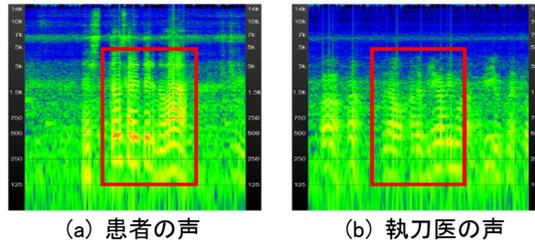


図5 患者と執刀医の声の違い

表1 話者認識の実験結果例

ID	音声セグメント数	正認識数	誤認識数	認識率
患者1	442	412	31	93.21
患者2	254	226	28	88.98
患者3	381	271	110	67.34
患者4	222	167	55	75.22
患者5	135	104	31	77.03

次に患者音声部分の波形解析及び音声認識を行うことで、患者の回答部分の抽出と、「えー」「あー」などの意味がない部分との切り分けを行った。次に患者の音声波形を解析することで、患者のストレスの大きさを推定することを試みたが、この実験では患者の平常状態の音声を利用できないことから、残念ながら正確な判定を行うことはできなかった。そこで、心拍数その他の同時計測されているバイタルデータを用いることとした。

(3) 医師の意志決定モデル

続いて医師の意志決定モデルを構築するための検討を行った。そのために、始めに熟練

の意志が、患者の応答を基にどのような順序で皮質マッピングを行なっているかを解析した。図6に例を示す。

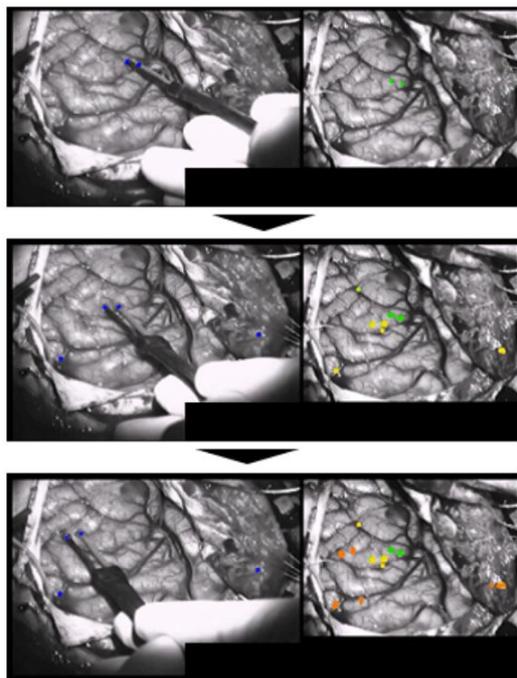


図6 熟練医師の電気刺激の履歴解析例

この解析により、熟練医師はまず領域の内部の刺激を行ない、続いて領域の境界付近を刺激することで領域を決定しているなど、皮質マッピングに関する暗黙知の形式知化を行うことができた。

(4) 患者の精神状態のモデル

(2)で述べたように音声波形からは、患者の音声部分の検出並びに無意味な発話その他は検出することができたが、患者のストレスを良好に検出することはできなかった。このため、薬剤などの影響によるノイズが含まれていると考えられるが、心拍数の大きさの大小が一種のストレスあるいは精神状態との相関あるとみなして検討を行った。その結果、医師の電気刺激と患者の応答並びに心拍数から求めた精神状態の変化を自動的に解析することができた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計4件)

- ① 西村俊彦、長尾智晴、伊関 洋、村垣善浩、田村 学、南 伸二、術中言語検査における音声情報を利用した覚醒下手術映像記録のタグ付け、医療情報学、査読有、34巻、2014、271-279
- ② 菅沼雅徳、長尾智晴、田村 学、村垣善浩、伊関 洋、覚醒下脳腫瘍摘出術における皮質マッピング動画記録の電気刺激位置の自動検出、日本医用画像工学会論文誌、査読有、32巻、2014、272-281
- ③ Toshihiko Nishimura, Tomoharu Nagao, Hiroshi Iseki, Yoshihiro Muragaki, Manabu Tanabe and Shinji Minami, Automatic Video Tagging Method for Awake Craniotomy, The

Proc. of IEEE International Conference on System, Man, and Cybernetics 2014, Vol.2637-2642, 2014, 5-8

DOI: 10.1190/SMC.2014.6974325

- ④ Toshihiko Nishimura, Tomoharu Nagao, Hiroshi Iseki, Yoshihiro Muragaki, Manabu Tanabe and Shinji Minami, Classification of Patient's Assessment during Awake Craniotomy, The Proc. of IEEE 7th International Workshop on Computational Intelligence & Applications 2014 (IWCIA 2014), 1, 2014, 207-212

〔学会発表〕(計7件)

- ① 菅沼雅徳、動画像中の異常検出ネットワークモデルの提案、2015年電子情報通信学会総合大会、2015年3月19日、京都大学(京都)
- ② 西村俊彦、覚醒下手術記録映像からの術野の3次元形状復元の検討、2015年電子情報通信学会総合大会、2015年3月10日、立命館大学(滋賀)
- ③ Masanori Suganuma, Detection of Electrical Stimulation Position in Recorded Surgery Videos of Cortical Mapping in Awake Brain Surgery, The 6th International Workshop on Computational Intelligence & Applications 2013 (IWCIA 2013), 13 July 2013, Hiroshima University (Hiroshima)
- ④ Toshihiko Nishimura, Detecting Electrical Stimulation of Cortical Mapping from Recorded Awake Surgery Sounds, The 6th International Workshop on Computational Intelligence & Applications 2013 (IWCIA 2013), 13 July 2013, Hiroshima University (Hiroshima)
- ⑤ Masanori Suganuma, Automatic detection of electrical stimulation timing in operation videos of cortical mapping in awake brain surgery, The 16th International Conference on Medical Image Computing And Computer Assisted Intervention (MICCAI 2013), 22 Sept. 2013, Nagoya University (Nagoya)
- ⑥ Toshihiko Nishimura, Intraoperative Voice Classification for Analysis of Cortical Mapping during Awake Surgery, The 16th International Conference on Medical Image Computing And Computer Assisted Intervention (MICCAI 2013), 22 Sept. 2013, Nagoya University (Nagoya)
- ⑦ 西村俊彦、覚醒下手術の皮質マッピング記録映像の解析、情報処理学会76回全国大会、2014年3月11日、東京電機大学(東京)

6. 研究組織

(1)研究代表者

長尾 智晴 (Nagao, Tomoharu)

横浜国立大学・大学院環境情報研究院・教授
研究者番号：10180457