

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 4 月 18 日現在

機関番号：13301
研究種目：奨励研究
研究期間：2019
課題番号：19H00448
研究課題名：機械学習を用いた術中 MEP モニタリング施行症例における術後麻痺予測のモデルの構築

研究代表者
油野 岳夫 (YUNO, Takeo)
金沢大学附属病院検査部・臨床検査技師

交付決定額（研究期間全体）（直接経費）：340,000 円

研究成果の概要：術中運動誘発電位（MEP）モニタリングは、術後麻痺回避のため錐体路機能を術中に評価する。しかし、MEP モニタリングは様々な要因により影響を受けるため、術後麻痺の予測精度が高くないという問題がある。本研究では、機械学習を用いて、MEP モニタリング下での脳腫瘍摘出症例の術後麻痺予測モデルの構築を試みた。その結果、アルゴリズムや MEP モニタリングの評価法により分類性能の差が見られた。また、アルゴリズムによっては特徴量選択により、分類性能が向上した。本研究で最も高い分類性能を示した分類器は、MEP をアラームポイントで評価したアンサンブル学習であった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまで、機械学習を用いて術中脳神経モニタリング施行症例における術後神経合併症予測モデルを構築した報告はなく、その学術的な意義は大きい。また、本研究では MEP 施行症例における術後麻痺発生の予測モデルを構築することで、術後麻痺の高精度な予測を可能とする結果が示された。今後の更なる検討は必要であるが、本研究で構築した麻痺予測モデルを用い、脳手術における術後麻痺のリスクを従来よりも低減させ、麻痺発生が予測される患者に対する脳神経保護治療やリハビリテーションのより早期からの介入を実施することで、術後 QOL の向上に寄与することが期待される。

研究分野：臨床検査医学

キーワード：MEP モニタリング、機械学習

1. 研究の目的

術中脳神経モニタリングは、各種神経の位置を同定するマッピングや機能状態の監視を行い、それらの情報を執刀医にリアルタイムで提供することで、神経機能が手術操作による損傷を受ける前に回避することを目的としている。その中でも、MEP モニタリングは、大脳皮質から運動に関する情報を伝える錐体路（皮質脊髄路）の機能を評価でき、錐体路への傷害が危惧される手術に際して施行され、術後の運動機能障害回避に有用である。この MEP モニタリングは、脳神経外科や脊椎・整形外科、心臓血管外科において施行され、当院においては最も施行数の多い術中モニタリングとなっている。術後麻痺回避における有用性が認識されている一方で、MEP モニタリングには、術前の患者状態や麻酔深度、血圧、体温等の影響を受けるため、波形の統一された評価基準がなく、検査精度が高くないという問題がある。その為、MEP 施行症例における術後麻痺の正確な発生予測は未だ困難な状況にある。特に脳神経外科領域の脳腫瘍摘出術における MEP モニタリングでは、術前での麻痺の有無といった患者状態が多様であることや、長時間手術による麻酔深度・血圧などの測定対象の状態変化が大きいといった要因により、術後麻痺予測はさらに困難となっている。この術後麻痺予測に有用と考えられる手法として、機械学習がある。機械学習は既存のデータより、法則性を導き出し、未知データの予測につなげることができ、様々な分野への応用が始まっている。そこで本研究では、MEP モニタリングを実施した脳腫瘍摘出術施行症例において機械学習を用いた術後麻痺予測モデルの構築を目的とした。

2. 研究成果

(1) 対象及び方法

当院脳神経外科において脳腫瘍摘出術を施行し、術後麻痺の有無が判明している MEP モニタリング記録91例(麻痺有:9例)を対象とした。機械学習にはWeka version 3.8.4 (The University of Waikato)を用い、術後麻痺の有無を目的変数、術中 MEP データ等を含む全てカテゴリ化を実施した16項目(年齢、性別、身長、体重、病理診断名、腫瘍側、腫瘍部位、手術時間、MEP 刺激方法、モニタリング側、モニタリング筋、ベースライン MEP、術中 MEP 低下の有無、最終測定時の MEP、術前麻痺の有無、術後一週間での麻痺の有無)を特徴量とした。検討項目として、①3種類のアプローチ(ニューラルネットワーク: NN、サポートベクターマシン: SVM、アダブースト: Adaboost)、②フィルター・アプローチ(ReliefF アルゴリズム)による特徴量選択、③最終測定 MEP モニタリングデータの評価法(アラームポイント、カテゴリ化した振幅値)の違いによる分類性能の変化を評価した。分類性能の評価には正解率、 κ 統計量、再現率、AUC、混同行列を用いた。なお、本研究における術後麻痺は、徒手筋力検査(manual muscle test: MMT) 1以上の低下を陽性と定義した。

(2) 結果

検討対象を術後麻痺の有無の2群に分類し特徴量の差を検討したところ、術中 MEP 低下の項目で有意な差($p < 0.05$)を認めたが、その他の項目において有意な差は認めなかった(Data not shown)。次に、機械学習により作成した分類器(麻痺予測モデル)の各種評価指標による分類性能検証結果を表1、混同行列による分類性能検証結果を表2に示す。使用するアルゴリズムや MEP の評価方法によって分類性能の差が見られた。また、ReliefF アルゴリズムを用いた特徴量選択により、特徴量を16個から11個まで削減したことで SVM、Adaboost で評価指標の向上が見られた。本研究において最も高い分類性能を示した分類器は、アラームポイントで評価を実施し、特徴量選択を行った Adaboost であった(正解率 96.703%、 κ 統計量 0.805、再現率 0.778、AUC 0.983)。

(3) 結論

本検討ではアンサンブル学習のひとつである Adaboost を用いたモデルの分類性能が高いという結果であった。また、使用するアルゴリズムや特徴量の選択、モニタリングの評価法により分類性能に違いがみられた。

(4) 今後の課題

分類器作成の教師データとなる症例を増やすことや、各アルゴリズムにおけるハイパーパラメータといった検討の条件の更なる最適化、使用する特徴量・その他のアルゴリズムの検討を行うことが挙げられる。

表1 各種評価指標による分類性能評価

最終MEPの評価	アラームポイント*1 以上or以下						100 μ V毎にカテゴリ化した振幅値					
	無			有			無			有		
特徴量選択	無	SVM	Adaboost	NN	SVM	Adaboost	NN	SVM	Adaboost	NN	SVM	Adaboost
アルゴリズム	NN	SVM	Adaboost	NN	SVM	Adaboost	NN	SVM	Adaboost	NN	SVM	Adaboost
正解率(%)	93.407	94.506	96.703	93.407	94.506	96.703	94.506	92.308	94.506	93.407	94.506	94.506
κ 統計量	0.590	0.638	0.805	0.590	0.676	0.805	0.638	0.546	0.638	0.590	0.676	0.638
再現率*2	0.556	0.556	0.778	0.556	0.667	0.778	0.556	0.556	0.556	0.556	0.667	0.556
AUC	0.954	0.772	0.978	0.954	0.821	0.983	0.935	0.759	0.978	0.973	0.821	0.988

*1: ベースライン波形の振幅を基準とし、50%以上低下時に術者に警告(当院)

*2: 実際に陽性(麻痺有)であるケースのうち、分類器が陽性と予測した割合

表2 混合行列による分類性能評価

最終MEPの 評価	アラームポイント※1以上or以下									100 μ V毎にカテゴリ化した振幅値									
	無			有			無			有			無			有			
特徴量選択	無	SVM	Ada boost	無	SVM	Ada boost	無	SVM	Ada boost	無	SVM	Ada boost	無	SVM	Ada boost	無	SVM	Ada boost	
アルゴリズム	NN	SVM	Ada boost	NN	SVM	Ada boost	NN	SVM	Ada boost	NN	SVM	Ada boost	NN	SVM	Ada boost	NN	SVM	Ada boost	
機械学習による麻痺予測									機械学習による麻痺予測										
	無	有	無	有	無	有	無	有	無	有	無	有	無	有	無	有	無	有	
実際の 麻痺	無	80	2	81	1	81	1	80	2	80	2	81	1	81	1	79	3	81	1
	有	4	5	4	5	2	7	4	5	3	6	2	7	4	5	4	5	4	5

※1: ベースライン波形の振幅を基準とし、50%以上低下時に術者に警告(当院)

3. 主な発表論文等

[学会発表] (計1件)

- ① 油野岳夫、中出祐介、中田晶子、寺上貴子、宮嶋良康、大江宏康、森三佳、林研至、酒井佳夫、和田隆志、術中運動誘発電位施行症例における機械学習を用いた術後麻痺予測モデルの構築、第59回日本臨床検査医学会東海北陸支部総会 2020年2月

4. 研究組織

※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、研究者個人に帰属されます。