

審査の結果の要旨

氏名 井林 賢志

発声機能の再建によるコミュニケーション機能の回復は、喉頭全摘後や閉じ込め症候群などの患者の QOL 維持のために重要な課題である。失われた神経機能を代替する技術として、近年ブレインマシンインターフェース (BMI) が発展してきた。BMI 実現のためには、計測された脳信号から、脳が意図した活動を解読する (脳信号の復号化) 技術が重要であるが、発声時の脳活動を復号化する際、さまざまな信号を利用することが検討されうる。

本研究は、頭蓋内から計測される脳信号である皮質脳波・局所電場電位・単一ニューロン活動の 3 種を同時に計測できる電極を使用し、発声の復号化を試みたものであり、以下の結果を得ている。

1. 難治性てんかんの精査を目的として頭蓋内電極留置術が施行された患者のうち、皿電極 3 枚と針電極 6 本が組み合わさったハイブリッド電極を顔面運動野近傍に留置された 6 名 (8 半球) が対象となった。各被検者は、画面に呈示された平仮名を発声し、ハイブリッド電極から計測された 3 種の信号 (皮質脳波・局所電場電位・単一ニューロン活動) をもとに発声した 5 種の母音の復号化解析が行われた。
2. 頭蓋内の局所から、皮質脳波・局所電場電位・単一ニューロン活動を計測する試みは本研究に独創的であり、それぞれの信号から発声に関連した神経活動を観察された。すなわち、皮質脳波および局所電場電位からは発声関連スペクトル摂動が、単一ニューロン活動からは発声関連スパイクヒストグラムを得ることができた。発声の復号化は、上記で得られた神経活動を元に作成された特徴ベクトルを、デコーダー (SLR) に入力して行われた。3 種の信号をそれぞれ単独で、あるいは 2 種類/3 種類と組み合わせて作成した特徴ベクトルを元に、復号化解析を行った。
3. 単独の脳信号を用いた発声を復号化は、単一ニューロン活動を用いた場合、患者間・母音間で平均すると $37.7 \pm 11.4\%$ であった。また、計測された単一ニューロンの数と復号化精度は有意水準には達しなかったものの、正相関を呈した (ピアソンの相関係数 0.66 , p 値 $=0.15$)。局所電場電位を用いた場合、患者間・母音間で平均すると $40.7 \pm 6.2\%$ であった。さらに、皮質脳波のみを用いた場合は、患者間・母音間で平均すると $41.0 \pm 5.6\%$ であった。3 種のいずれの信号を用いても、有意水準を越える復号化精度を達成することができた。
4. 異なる脳信号を組み合わせて復号化を行った結果、単一ニューロン活動ならびに皮質脳波を組み合わせた場合で $52.0 \pm 10.5\%$ 、単一ニューロン活動ならびに局所電場電位を組み合わせた場合で $44.9 \pm 7.5\%$ 、皮質脳波と局所電場電位を組み合わせた場合で $48.9 \pm 9.1\%$ であつ

た。また、3種類すべての信号を組み合わせた場合の復号化成績は $54.1 \pm 11.2\%$ であった。

5. 3種の信号を組合せることで、単一の信号を用いる場合よりも高い復号化精度を達成することができることが示された (3種の組合せ vs 単一ニューロン活動 ($p=0.03$) vs 皮質脳波 ($p=0.03$)、vs 局所電場電位 ($p=0.03$))。
6. 最も高い復号化精度を達成した電極は、MNI 標準座標(x,y,z) = (-59,3,13)であり、既存の報告において舌・口唇領域に一致する部位に留置されたものであった。

以上、本論文はヒト頭蓋内より計測される3種類の信号を組合せることで、母音発声の復号化精度が向上することを示した。3種の信号を同時に限局した皮質から計測した報告はこれまでになく、本研究の成果は将来的な発声 BMI 構築のために重要な役割を果たすものであると考えられ、学位の授与に値するものと考えられる。