

Title	脳磁図を用いた脳信号からの運動内容解読と神経生理学的評価
Author(s)	菅田, 陽怜
Citation	大阪大学, 2012, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/59032
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉 大阪大学の博士論文について 〈/a〉 をご参照ください。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

氏名	菅 田 陽 樹
博士の専攻分野の名称	博士 (保健学)
学位記番号	第 25265 号
学位授与年月日	平成24年3月22日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 医学系研究科保健学専攻
学位論文名	脳磁図を用いた脳信号からの運動内容解読と神経生理学的評価
論文審査委員	(主査) 教授 依藤 史郎 (副査) 教授 岩谷 良則 教授 稲垣 忍

論文内容の要旨

【背景】近年、脳信号を利用して外部装置を制御しようとするBrain machine interface (BMI) に関する研究が盛んに行われている。BMIで利用される脳信号にはさまざまなものがあるが、中でも硬膜下電極から計測される皮質脳波には多くの情報が含まれており、高いBMI精度を得ることが可能である。そのため、皮質脳波を用いたBMIは将来的に筋萎縮性側索硬化症や高位頸髄損傷などの自発的な運動を行えなくなった患者への応用が期待されている。しかしながら、皮質脳波を得るためには開頭手術が必要であり患者への負担は大きい。また、BMIの精度には個人差があるため、皮質脳波を計測してもすべての患者が意図したように外部装置を制御できるとは限らない。したがって、侵襲型のBMIを実施する前にあらかじめBMIの適応があるか否かを非侵襲的方法により客観的に評価することが必要となる。

そこで、本研究では、脳磁計を用いて健常者の運動時の脳信号から実際の運動内容を解読し、その解読結果と神経生理学的反応との関連性を明らかにすることにより、BMI精度の非侵襲的予測法を確立することを目的とした。

【方法ならびに結果】9名の健常被験者が本研究に参加し、被験者の脳磁界反応は160チャンネル全頭型脳磁計 (MEG vision NEO, 横河電機) を用いてシールドルーム内で計測した。被験者は背臥位で、デューフと呼ばれる脳磁計のセンサーが収納されている容器に頭を挿入した状態で実験を行った。被験者には325mm離れたスクリーンに液晶プロジェクター (LVP-HC6800, 三菱電機) と視覚提示システム (Presentation, Neurobehavioral Systems) を用いて運動課題を提示した。まず、4秒間の固視点を提示し、その後、右上肢の握り、摘み、肘曲げの3種の運動内容を提示した。各1秒間のタイミングキューを2回提示後、実行指示に合わせて前に提示された運動内容を被験者に実行させた。各運動はそれぞれ60回ずつランダムな順番で提示した。したがって、被験者は右上肢の握り、摘み、肘曲げをそれぞれ60回、合計180回行った。

次に、得られた脳信号から運動内容の解読に必要な特徴量を抽出した。特徴量とは脳信号を解読するための情報のことで、本研究では、正規化した脳磁界反応を移動平均した移動平均脳磁界反応と高速フーリエ変換によって得られる脳律動変化の2種類を解読の特徴量に使用した。また、運動内容を解読するためのアル

ゴリズムにはsupport vector machine (SVM) を用いた。これは識別を行う機械学習法の一つで、識別空間上に存在する複数個の群を分離平面で分離する際に、互いに距離が最大になるようにパラメータを決定することにより、高い識別能を得ることができる機械学習法である。なお、本研究では、特徴量の抽出から運動内容の解読に至る一連の解析を数値解析ソフトウェアMatlab 2008a (Mathworks, Natwic, USA) にて行った。

結果は、9名の被験者において、移動平均脳磁界反応から運動内容を解読できる確率が平均 $66 \pm 10\%$ と高い値が得られた。また、解読正答率の時間経過をみると運動開始前から正答率が有意に上昇し、運動開始後に正答率がピークに達した。一方、脳律動変化から運動内容を解読した場合には、十分な解読正答率が得られなかった。次に、脳磁界反応の強度と解読精度との関連性を明らかにするために、運動時に出現する運動関連脳磁界反応 (MRCFs) の構成成分である運動磁界 (MF)、運動誘発磁界I,II (MEFI, II) に着目し、その反応強度と解読精度との関連性を検討した。その結果、それら3つの成分の反応強度と、同潜時における解読精度において有意な相関が認められた(MF= 0.90; MEFI= 0.90; MEFII= 0.87)。

【総括】運動内容の解読のための特徴量として脳磁界反応を使用することで、すべての被験者において有意に高い解読正答率を得ることができた。また、正答率の時間変化をみると、運動開始前からすでに正答率の有意な上昇が認められ、時間経過と共に正答率の変化と運動前後のピークがあることが明らかとなった。これらのピーク潜時とMRCFsの各コンポーネントの潜時がよく一致しており、これらの関連が示唆された。さらに、個人間での神経生理学的な反応強度と正答率との比較では、MRCFsの各コンポーネントと解読精度との間に有意な正の相関が認められた。

以上のことは、非侵襲的計測法においても一側上肢の複数運動を比較的高い精度で解読することが可能であり、特に脳磁界反応由来の成分が解読特徴量として有用であることを示している。さらに個人間では、神経生理学的反応強度を評価することでBMIのパフォーマンスを事前に脳信号から予測できる可能性を示すことができた。

今後、さらに複雑な運動内容の解読や実際の運動を伴わない運動のイメージ内容、言語機能の非侵襲的解読を行い神経生理学的な反応の個人差との関連性を明らかにしていくことで、侵襲型BMIの適応評価の発展や非侵襲型BMIの精度向上、さらには新しい神経リハビリテーションの開発につながる可能性があると考えられる。また、従来より用いられている神経生理学的な評価法と、新たな技術であるBMIとの関連性が示されたことで、神経生理学的評価法を今までとは異なる方法で捉えることが可能となると期待される。

論文審査の結果の要旨

本論文は、侵襲型Brain machine interface (BMI)の術前検査法の確立を目指して、健常者の運動時の脳信号から脳磁計を用いて実際の運動内容を解読し、その解読結果と神経生理学的反応との関連性について検討している。9名の健常被験者に対し、右上肢の握り、摘み、肘曲げの3種の運動をそれぞれ60回、合計180回行った際の脳信号を脳磁計にて計測し、得られた脳信号をもとに解読アルゴリズムであるsupport vector machine (SVM) を用いて運動内容の解読を行い、その結果と神経生理学的反応の個人差との関連性について検討している。

本研究では、運動内容の解読のための特徴量として脳磁界反応を使用してパターン化することで、すべての被験者において有意に高い解読正答率を得ることができ、一方正答率の時間変化の検討では運動開始前か

らずに正答率の有意な上昇が認められ、時間経過と共に正答率の変化と運動前後のピークがあることを明らかにしている。これらのピーク潜時と運動関連脳磁界反応の各コンポーネントの潜時がよく一致しており、両者の関連性が示されている。さらに、個人間での神経生理学的な反応強度と正答率との比較では、運動関連脳磁界反応の各コンポーネントと解読精度との間に有意な正の相関が認められている。

これらのことは、脳磁図という非侵襲的計測法において一側上肢の複数運動を比較的高い精度で識別解読することが可能であることを初めて明らかにしたものであり、さらに個人間では、神経生理学的反応強度を評価することでBMIのパフォーマンスを術前に脳信号から予測できる可能性があることを示している。今後、さらに複雑な運動内容の解読や実際の運動を伴わない運動のイメージ内容、言語機能の非侵襲的解読を行い神経生理学的な反応の個人差との関連性を明らかにしていくことで、侵襲型BMIの適応評価の発展や非侵襲型BMIの精度向上、さらには新しい神経リハビリテーションの開発につながる可能性があると考えられる。また、従来より用いられている神経生理学的な評価法と、新たな技術であるBMIとの関連性が示されたことで、神経生理学的評価法を今までとは異なる方法で捉えることが可能となると期待される。

以上のことにより、本論文は博士（保健学）の学位授与に値するものであると考えられる。