



重度障害者による表面筋電位波形の随意的コントロールを 目的とした訓練手法の提案

伊藤 史人^{*1} 門脇 和央^{*2} 縄手 雅彦^{*1}

A Proposal of Myoelectric Output Training for the Severely Disabled People

Fumihito ITO^{*1}, Kazuhisa KADOWAKI^{*2} and Masahiko NAWATE^{*2}

Abstract –A People with disabilities such as severe cerebral palsy and neuromuscular disease is difficult intention transmission by speech and writing. They use the intention transmission device to communicate. One of the operation methods of the intention transmission device includes a switch using surface myoelectric potential. In order to perform voluntary movement training will let the self-control of muscle tone by using biofeedback is effective. We have developed a training software, was to improve the myoelectric output and voluntary movement by training. In this report, we consider the introduction and training effect of the training software.

Keywords: myoelectric, communication aid, als, sma

1. はじめに

発話や書字が困難な重度障害者が意思を表出するには、透明文字盤などを利用する方法もあるが、読み取り者が常に必要であるため利用シーンは限られる。一方、日本においては、公費補助により意思伝達装置が利用できる。これにより、独力で文字を綴ることや、インターネットで外部との通信ができるため、多くの患者が意思伝達装置を利用するにいたっている。

コミュニケーションに困難がある患者のための残存機能を活用したコミュニケーション支援システムの研究開発がすすめられている。意思表示をするのに有効な手段として生体信号を用いるものがあり、例として筋電図を利用するものや、脳波を利用するもの、眼電図や視線を利用するものなどがある[1]。

中でも筋電図は、筋を収縮する時に発生する活動電位を計測するものである。計測方法として表面筋電図があり、電極等を貼り付けるだけで波形を観測することができる[1]。

筋収縮のように人が認識することが難しい生理現象を視覚・聴覚で感知できる知覚信号に置き換え、本人に認識させることをバイオフィードバックという。筋電図においてもバイオフィードバック療法は行われており、筋肉の収縮を認識させることで筋収縮のコントロールを促すことが可能であると考えた。

表面筋電図を用いた入力装置によるリハビリ支援システムや、上肢切断者における筋電義手を扱うためのトレーニングについての研究は存在するが[2]、重度障害者の

ような進行形の疾病患者を対象とする意思伝達を目的とした研究は多くはない。そこで、バイオフィードバックを取り入れて随意的な筋電出力を行うことで、意思表示の効果的な訓練となることが考えた。本研究では意思伝達の前段階として意思表示を明確に行えるようにバイオフィードバックを用いて随意的な筋電出力を行う訓練ソフトウェアの試作を行った。

意思伝達装置は ON / OFF のスイッチ操作によって制御するものがほとんどである。つまり、意思伝達装置の利用の可否はスイッチ操作の精度により大きく左右されるといってよい。そのため、スイッチの適合はコミュニケーション環境を維持するためにきわめて大切であり、患者の QOL に直結するものである。

本研究では、生体電位方式のうち筋電センサースイッチを試作し、進行の進んだ患者への適合および検証を行った。被験者は意思伝達装置を利用する ALS 患者である。

2. 目的

筋電入力を用いた随意運動訓練ソフトウェアで知覚的なバイオフィードバックを用いた訓練を行うことで筋緊張をコントロールすることができるようになるのか、訓練ソフトウェアによる訓練効果を考察する。

また、意思伝達装置のスイッチとして利用を前提とした考察も行う。筋電出力をスイッチとして使用するには、比較的短時間にある程度の出力があるのが望ましい。なぜなら、なだらかな出力の場合、スイッチとしての判定が行いにくいからに他ならない。

3. 方法

これまで筋電センサースイッチはいくつか販売されているが、いずれもスイッチ出力にいたる内部処理は公開

*1: 島根大学総合理工学研究科

*2: London School of Economics and Political Science

*1: Faculty of Science and Engineering, Shimane University Interdisciplinary

*2: London School of Economics and Political Science

されていない。そこで、本研究では、できるだけリニアな計測が行える筋電計を試作した。筋電計測装置は PC と連携させて筋電データを収集する。

3.1 筋電計測装置

本研究では、皮膚表面に表出する筋電信号を計測する。計測回路は、計装アンプ AD8226 および汎用アンプ TL084 などで構成し（図 1）、増幅率 Gain は、(1)式で決定される。筋電信号の処理フローは図 2 および図 3 に示す。

$$Gain = 207 \cdot \frac{X}{1k\Omega} \quad (1)$$

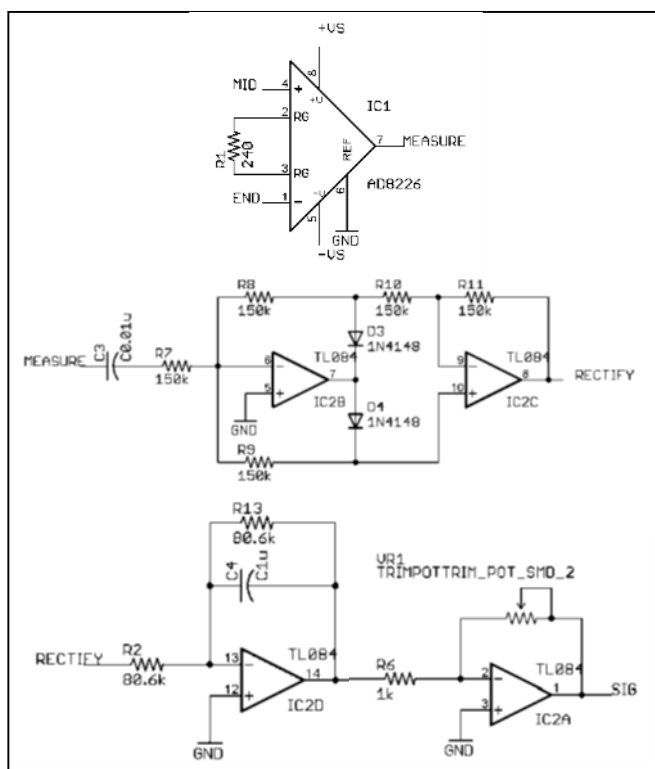


図 1 筋電計の構成

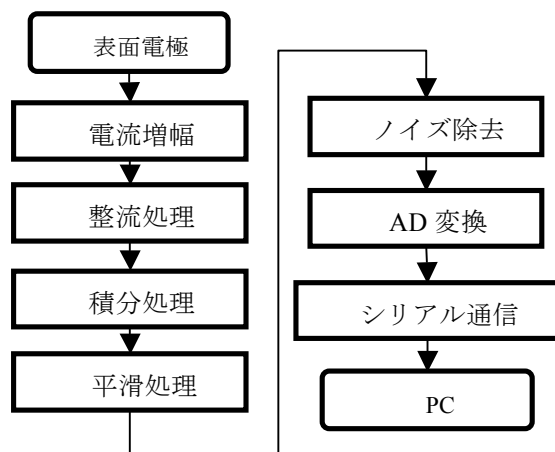


図 2 筋電計の処理フロー

ここで、X は 可変抵抗値であり 0.01~100 kΩ の値を取ることができる。つまり、最大で 20,700 倍の増幅を得ることのできる計測回路である。なお、電源は±12 V を必要とし、信号は 0~12 V の範囲で出力される。PC との連携のため、ワンボードマイコンによって 10bit AD 変換できる仕組みとしている。

電極は粘着式の医療用ディスプレイ電極を 3 つ利用する。1 つは生体のベース電圧であり、その他 2 つは差動計測用である。

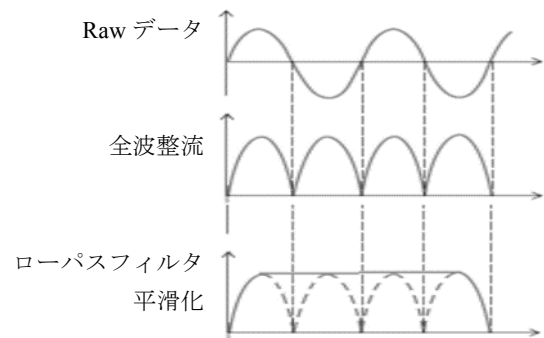


図 3 筋電データの前処理

表面筋電位の記録電極は筋腹から 3-5cm 離れた位置の皮膚上に 2 箇所とグラウンド用に 1 箇所、計 3 箇所に電極を貼り付ける。筋電計から出力される電流は整流処理を行った後に積分処理と平滑処理を行っている。処理を行った電流には直流電流によるノイズが多く混じっているため、AC カップリングによりノイズ除去を行った後、マイコンを用いて AD 変換を行い、シリアル通信で PC に送信する。筋電計からは 1,024 段階で入力され、筋収縮が小さい場合であれば数値が小さく、筋収縮が大きい場合であれば大きくなる。Arduino の基準電圧を変えることで利用者の筋電レベルに合わせた入力の調整が行える。電源の供給は安全性からバッテリー駆動としている。

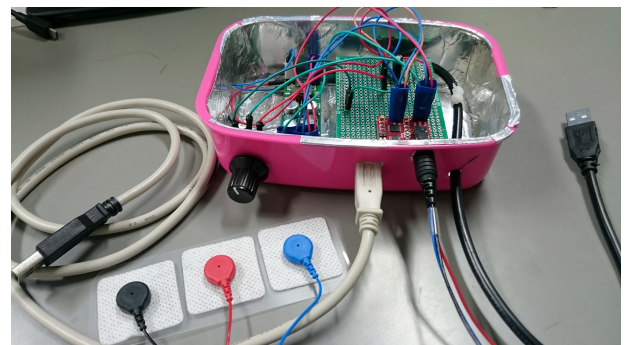


図 4 製作した筋電計

試作した筋電センサースイッチを図 4 に示す。ケース内には、筋電アンプ・マイコンボードおよび表示器が収

められている。出力としては、シリアル接続用の USB コネクタと接点出力用のミニプラグが用意されている。

3.2 訓練ソフトウェア

随意運動訓練ソフトウェアは楽しみながら訓練を行えるようにゲーム形式とし、ゲームエンジンである Unity を用いて作成した。

筋電出力の大きさに合わせて円柱型のオブジェクトの長さを変化させることでグラフ状に表示させている。筋電計による入力波形は時間が経つにつれて画面左から右へと移動し、画面右端まで行くとすべての波形がリセットされて、画面左端から再び出現する。

波形を使って画面内のオブジェクトを破壊できるようにしており、ゲーム性を取り込んで仕組みとしている。

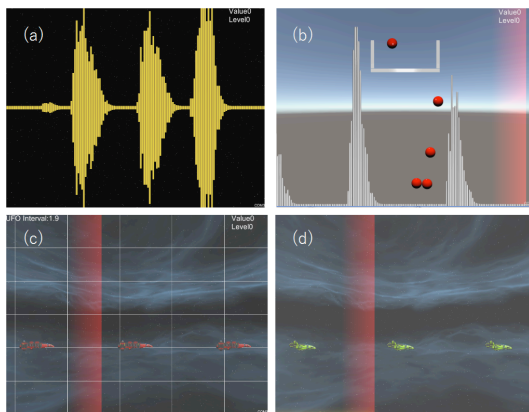


図 3 筋電訓練ソフトウェア

(a)ビジュアルライザー、(b)ボールであそぶ、
(c)UFO 撃墜練習、(d)UFO 撃墜ゲーム

ビジュアルライザー

ソフトの概観を図 3(a)に示す。画面上に筋電入力を提示することで入力大きさを視覚的に確認することができるソフトウェアである。使用者は自由に筋肉を動かし、どのような動きをすればより大きな筋電入力を行うことができるか試すことができる。

ボールであそぶ

訓練ソフトの概観を図 3(b)に示す。筋電入力を利用した波形を 5 つの赤いボールに当てることでボールの動きを変化させ、上部にあるかごに入れるゲームである。動いているボールに波形を当てゴールに入れようとすることで随意運動の訓練となる。

UFO 撃墜練習

訓練ソフトの概観を図 3(c)に示す。バイオフィードバックにより筋電計による入力を知覚することで筋電出力を調整することと、周期的に出現する標的を撃破することで連続的な随意運動を行うことを目的とする訓練ソフト

トである。

UFO 撃墜ゲーム

これは UFO 撃墜練習のゲーム性をより増した内容の訓練ソフトである。訓練ソフトの概観を図 3(d)に示す。ステージには UFO が連続して 3 体並んでおり、標的を倒すごとに標的の高さが上昇する。また、高さが一定以上になると高さが初期位置に戻るかわりに標的の大きさが小さくなるため、より正確な随意運動が必要となる。難易度が徐々に上昇していくことで楽しみながら訓練を行うことができる。

3.3 実験協力者と既設スイッチ

被験者は意思伝達装置を利用している ALS 患者 6 名である。既設スイッチにより、すでにスイッチ運動の訓練がされていると考えられる。それぞれのスイッチ方式は表 1 のとおりである。

表 1 実験協力者の利用するスイッチ方式

スイッチ方式	度数
空気圧式	2
圧電式	2
静電式	1
視線式 + 静電式	1

4. 結果と考察

「ビジュアルライザー」を用いて筋電波形のフィードバックを行った際には開始直後に行ったこともあり、自分の筋電出力を確認する様子が見られた。はじめは何をすれば筋電入力をする事ができるのかわからず戸惑う様子が見られることが多かったが、筋肉を動かすことで波形が変化することがわかると大きな動きをすることで波形を大きくさせることが多かった。しかし、大きな動きをすることが波形を大きくすることではないことがわかると様々な動きを試す傾向があった。

「ボールであそぶ」を用いて筋電出力の訓練を行った際には、使用者は動くボールに波形を当てようとする姿勢が見られた。自ずとボールに波形を当てようと

することで随意運動の訓練になったと考える。

「UFO 撃墜練習」・「UFO 撃墜ゲーム」を用いて筋電出力訓練と随意運動の向上訓練を行った際には、開始時と比較するとより小さくより高い位置の標的を連続して破壊することが可能となる傾向が見られた。繰り返し練習することで随意運動が向上したといえる。しかし、標的が高い時には筋電入力を大きくすることはできるが、低い時には意識して低くすることはしていなかった。

筋電計を使用して訓練を行った結果の模式図を図 5 に示す。筋電波形は開始直後には図 5(a)のように常に筋緊張している状態でまとまった波形であることが多いが、

時間経過とともに図 5(b)のような鋭い波形となる傾向が見られた。

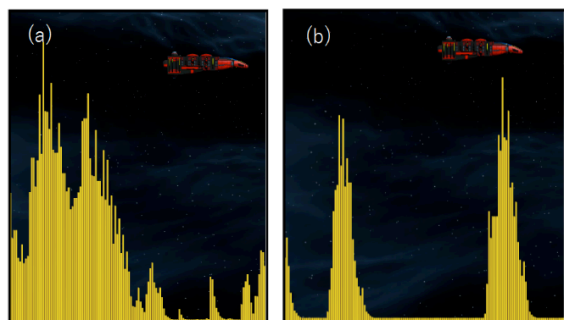


図 5 筋電計による入力波形
(a)開始直後の波形, (b)訓練後の波形

波形が変化した要因として次の 2 つが考えられる。

1 つ目は繰り返し標的を狙うことでどの部位を動かせば効率的に出力ができるか理解し、筋肉を意識して動かすようになったためだと考える。個人差はあるものの、開始直後はディスプレイ電極を貼り付けた全体の筋肉を動かそうとするのに対して、時間経過とともに電極を貼り付けている部位の近くのみが動くような小さな動作をする傾向があった。しかし、脳性麻痺の患者が実験を行った際には不随意運動も多く含んでおり模式図のような鋭い波形を入力することは困難であった。

2 つ目は訓練ソフトウェアに慣れたことが挙げられる。筋電位という普段生活する上では意識しない信号をバイオフィードバックとして視覚的に感知しゲームの操作方法として利用したため、力を入れると波形が大きくなるということを理解すると試行錯誤しながら波形を変化させていた。筋緊張を開始直後と比較してコントロールすることができていたため、短時間の訓練ではあったが期待する訓練結果となったと考える。

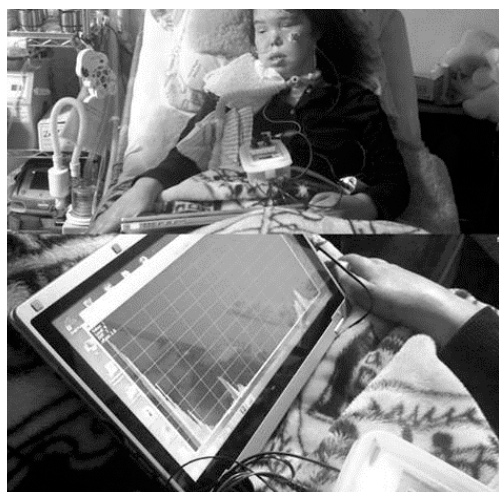


図 6 実験の模様

5. おわりに

筋電計を使用して随意運動訓練ソフトウェアで知覚的なフィードバックがある訓練を行った結果、多くの使用者は開始時よりも筋緊張をコントロールすることで筋電出力の調整が可能になった。また、周期的な入力が必要となるソフトの訓練効果から随意的な入力を行うことができるようになる傾向が見られた。しかし、使用者の一部には随意的な入力を試みるも不随意運動が伴ってしまうことで、随意的な入力ができない場合があることが判った。このことから、短時間では効果が少なかった利用者を対象に長期的な使用によって随意的な入力を行えるようになるのか、指標を用いた検証を行うことが今後の課題である。

周知のとおり、筋電センサはノイズが避けられない[3][4]。電極と計装アンプの間でノイズを拾ってしまう。その点、容量結合式はノイズの影響を排除しやすいことから、今後は積極的に試していきたい。筋電センサスイッチは、意思伝達装置用のスイッチとしては、これまであまり使われてこなかった。しかし、ディスプレイ電極などの消耗品を含むコスト面が解決されればより広く使われる可能性がある。

さらに、機械学習などにより信号を学習することでさらにスイッチ判定を改善することができる可能性がある[5][6]。そうなれば、患者のスイッチの選択肢は大きく広がり、生活環境に合わせたスイッチを利用できるようになるだろう。

参考文献

- [1] 梶谷勇, 樋口哲也, “絶縁型筋電センサを用いたユーザインタフェースの開発”, 信学技法, WIT2005-81, pp. 41-46, 2006.
- [2] 木塚朝博, 増田正, 木竜徹, 佐渡山亜兵, “バイオメカニズムライブラリー 表面筋電図”, 東京電機大学出版局, 2008.
- [3] M. Nakahara, F. Takeda, K. Nakaura and Y. Yamamoto, “Propose of an Arm Behavior Recognition System with EMG and Neural Network”, ICMIT'01, pp.400-405, 2001.
- [4] 片山敦史, 辛徳, 小池康晴, “筋電信号を用いた指関節角度推定”, 電子情報通信学会技術研究報告 MVE マルチメディア・仮想環境基礎, Vol. 106, No 611, pp. 7-12, 2007.
- [5] 森田聡, 柴田克成, 伊藤宏司, “ニューラルネットワークを用いた人間-筋電義手インターフェース”, 電気通信学会技術研究報告 MBE ME とバイオサイバネティクス, Vol. 99, No. 688, pp. 37-42, 2000.
- [6] Christianini, N, “サポートベクターマシン入門”, 共立出版株式会社, 2008.