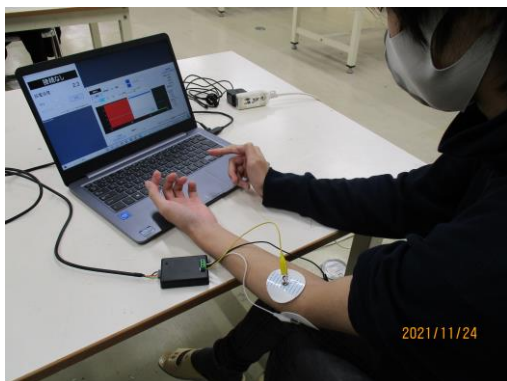


人から発生する生体信号データを用いた 医工計測技術の教材開発に関する研究



実施責任者 宮崎県立宮崎工業高等学校(定時制)
教諭 串間 宗夫

1 はじめに

生体信号は、人が筋肉を動かそうとする時、筋肉は収縮と弛緩を行う。主な生体信号として、心臓の活動（心電図、血圧、心拍数、血流、心音）、脳の活動（脳波、脳血流）、筋肉（筋電図）などがある。このような生体信号を見ることで人の体内で起きている様々な現象を知ることができ、体の不調の原因特定や、病気の予防に役立てることができる。筋電図は、中枢からの筋への運動指令を表している。特に皮膚表面で計測する筋電図のことを、表面筋電図と呼ぶ。この表面筋電図に関する発生機序と、計測の基本を理解し、生体信号の一種である筋電図（筋電位）の計測について生徒実習を行い、計測した結果について、解析方法を生徒に指導し可視化する。可視化結果に関しては、生徒に説明し、その結果について生徒同士で意見交換する。実験後のディスカッションとして、グループ内で意見の交換を行い、グループの意見を代表者が全員の前で発表させ、積極的に意見が出てくるように指導することが本研究の目的である。

2 筋肉と筋電図

生筋肉は、大脳の運動野などから神経を介して伝達される微弱な電気信号によって制御されている。運動神経の興奮は、最終的に α ニューロンと呼ばれる神経細胞に達し、神経と筋肉の接合部からアセチルコリンが放出されることで筋収縮が生じる。筋収縮の際には筋繊維に活動電位が生じる。これは皮膚表面からも微弱な電位の変化として検出可能で、表面筋電位、または単純に筋電位と呼ばれる。

筋電位は、表面筋電計・筋電センサ・筋電位センサと呼ばれるセンサで取得できる。生体信号については、肘を曲げて力を入れると力こぶが固く盛り上がり、上腕二頭筋という筋肉が収縮した状態になる。このように筋が収縮したとき、筋には活動電位が生じる。これが筋電位である。筋電位は人間の筋肉の動きを読みとれるため、義手の操作やパワードスーツの操作、リハビリやスポーツ工学などに用いられる。体に取り付けた電極でこの電位を取り出して波形として描いたもので、その筋肉内で発生する微弱な電場の変化を縦軸、時間経過を横軸にとった物が筋電図である。筋電図の波形は、筋が収縮するほど（力を入れる）振幅が大きくなり、弛緩した（力を抜いた）状態では小さくなる。体を動かしたときや、動かさなくても無理な姿勢を継続的に維持しているようなときは力が入っているため筋電図の振幅は大きい状態となる。

3 筋電図測定方法

3-1 筋電位センサ(表面筋電計)

表面筋電図の計測には、センサとして、東京デバイセズ製の USB 筋電位センサ(表面筋電計)IWS940 マッスル・リンク リを使用した。マッスル・リンクは、筋電位を利用したアプリケーションやデバイスを製作するための開発キットであり、筋肉が動くときの微弱な電流の変化を捉え、アプリやデバイスを簡単に開発できる筋電アプリケーション開発キットである。生体電位を取得するためには人体に電極を取り付ける必要がある。IWS940 には、+電極、-電極、ノイズキャンセル電極の 3 種類のターミナル端子がある。電極を取り付ける前に、収縮を検出したい筋肉を決定する。筋電位を得るためには電極の位置が重要である。筋電位は 2 つの電極の間の電位の差として測定され、1 つの筋肉に対して、様々な電極の配置が考えられる。電極の位置によって、検出できる筋肉が変わり、収縮を検出したい目的の筋肉を決め、その筋肉の動きを最も大きく捉えられる電極の配置を探す。

3-2 筋電強度

IWS940Demo.exe ファイルをクリックし、マッスル・リンク TM デモプログラムを起動すると、画面には、筋肉の「収縮」「弛緩」状態を表示する項目がある。IWS940 が接続されていない場合には「接続なし」と表示され、また、筋電強度をリアルタイムで表示する項目がある。さらに、閾値とヒステリシスを設定するためのテキストボックスがあり、このテキストボックスを書き換えることで、どの程度の筋電強度が検出されたら筋収縮とみなすか、を設定できる。

3-3 KindenMonitor (筋電モニター)

KindenMonitor ソフトウェアから筋電位の様子を描画・計測をすることから得られる筋電位情報は、信号波形になる。横軸が時間、縦軸が筋電位である。筋肉が強い収縮(大きい力を出しているとき)時、より大きな振幅の信号が計測できる。ただし、握力計などの筋力測定器とは異なり、筋のコンディションにより、同じ筋力が発揮されているとしても計測される信号は変化している。

4 筋電図実験測定内容

4-1 筋電図計測手順

具体的実験実施方法について以下に詳細を示す。

(1)生体信号の基本学習：信号としての生体信号の多くは一定のリズムを繰り返している。周期的に変化する信号は「波」と表現されることが多く、信号解析の中でもこのような波の信号の解析は特に重要であることから、生体信号の基本学習を行う。

(2)生体信号の取得と記録：生体信号は非常に微弱なのでほとんどの場合は機械に頼ることになっている。多くの場合、信号を増幅器(アンプ)を通して、コンピュータに取り込み、それをコンピュータで解析するという流れになる。さらに、信号の性質や、信号解析の目的に合わせてこれらの計測機器の設定を正しく行う必要がある。また、生体信号を解析するには、まずは正しく生体信号を取得しなければならない。

(3)生体信号の解析：多くの場合、取得した信号はそのままでは使えない。注目していない信号が混ざり、取得段階できれいに取れなかったノイズなどが含まれていることが多い。そこで、取り込んだ信号をコンピュータで処理して、必要とする信号だけをうまく取り出す必要がある。このような一連の作業を学び、信号処理について理解することになる。

(4)実習報告書の書き方の指導：グラフや図を入れたわかりやすいレポートの書き方を学ぶ。後から見直してよくわかるノートという点でも指導する。

計測実験で使用するハードウェアとしては、1. 筋電計 (多用途生体電気アンプでもよい)、2. 表面電極 (銀塩化銀, ディスポーザル, アクティブなど)、3. アルコール綿、4. 紙やすり、5. かみそり (必要であれば)、6. 筋電・心電図用ペースト、7. アンダーラップやテーピングなどのケーブル固定用の道具、8. ビデオカメラ (高速な運動であれば、高速度カメラ)、9. 力計測のための実験装置など、10. メトロノーム (リズムに合わせて運動を行うような場合)

4-2 計測プロトコル

1. 筋電計測器ならびに、パソコン、ビデオ撮影装置などの装置を準備する。2. 電極・ケーブル、アルコール綿や乾いた脱脂綿、サージカルテープ・テーピングなどの計測に必要な消耗品を準備する。3. 披験筋の位置、筋の走向方向を確認し、マークをつけておく。4. 皮膚表面をきれいにする。(a) 毛深い場合には、カミソリで毛をそる。(b) (必要なら) 紙やすりで皮膚表面を少し削る。(c) アルコール綿で皮膚表面を脱脂する。(d) スキンピュアーなどを使う場合には、皮膚が赤くなるまで擦る。5. 上腕二頭筋における表面筋電位センサの電極を貼る。(a) 電極に電氣的インピーダンスを下げるためのペーストを塗る。(b) 電極間隔が約 10mm 程度になるように皮膚に貼る。(c) アーズ電極 (接地電極) を計測しようとしている筋肉より遠くでかつ骨が対表面に出ているようなヒトの皮膚表面に貼る。6. 電極にコードを取り付ける。コードはまとめて束ね、計測器まで引き伸ばす。7. 筋電をモニタリングして、計測が出来ているかどうかのパソコン画面の筋電図表示ソフトウェアで確認をする。8. 実験計測する。電極は、使い捨て電極 (ディスポーザル電極) を使用する。双極誘導法により、1カ所当たり2個の測定電極を利用する。なお、表面筋電図では、その性質上体表面から深い部分の筋電図は、うまく計測できない。また、背筋、腹筋の薄く層状の筋肉の筋電図振幅は小さい。精度良く計測するためには、筋電図に混入または影響を与える要因 (アーチファクト) を排除するテクニックが必要である。

皮膚の電気抵抗は、皮膚の湿潤度と皮膚角質層の厚さによって変動するので、アルコールを浸けた脱脂綿等でこすり、乾いてから電極を貼り付ける。電解液である汗と電極の金属の間で分極電位が生じるが、最近では、使い捨て電極 (ディスポ電極) に電解ペーストを塗布して使用すれば、ほとんど問題なく計測できる。電極は、計測する筋肉の筋腹 (力を入れて最も盛り上がる位置付近) 付近で筋肉の繊維方向に平行に約3~数cm間隔に電極を貼る。電極コードがつっぱって電極が動き、電極が皮膚から浮いてしまうと電極と筋肉の相対位置が変わり電位が大きく変動する。電極コードはつっぱらないように余裕をもって取り回したり、周囲に引っかかたりしないように電極コードをなるべく束ねる等の対策が必要である。

5 結果と考察

手の全体的な動きなど、複数の筋肉が関与する動きを取得したいので、それらの筋肉を含めて貼りつけるように電極を配置することで尺側手根屈筋・長橈側手根伸筋を主体とした筋電強度が取得できる。これにより手を丸めたり反らせたり (掌屈や背屈) した際のイベントを取得できるように左腕を測定した。

10秒間隔で力をいれ、5秒継続することを繰り返すことで、各動作における複数のデータを取得した。この方法であれば、出力結果を10秒間隔で動作を切り出せる。

・実際の動作 (握り、反り、屈曲、動作無し)
・手を握った時、反った時、屈曲した時の3パターン (厳密には無動作時を併せて4パターン) における筋電位パターンを用いて分類。筋電位波形を見てみると、動作によって波形の“感じ”が異なることがわかる。同じ動作であれば毎回おなじ“感じ”になる。図1に筋電強度を示す。

(1) 筋電強度

測定値 動作なし(2.4)、屈曲(4.2)、握り(6.1)、閾値(1.8)、ヒステリシス(0.3)

(2) 実験による筋電図



図1 筋電強度

握り、反り、屈曲、動作無し、について計測した筋電図を図2に示す。

(3) 筋電値をAD変換したCVSデータを保存したのちに、このCVSデータをエクセルで呼び込む。処理した結果の可視化図を図3に示す。

(4) 考察

人間の動作に必要な力や身体への負荷は適切にコントロールされていないと、身体へ悪影響を与えることがある。しかし、身体への負荷を数値化することはあまり行われていない。本研究では、筋電計を用いて身体動作における数値化を行った。運動中に発揮した筋力変化と、筋電図の時間変化を見比べると、運動において筋力の発揮が上昇するにつれて筋活動も活発になる。筋は出力する筋力が小さいうちは、少数の運動単位をもつ筋群を使うが、徐々に大きな運動単位をもつものを動員していく。疲労すれば筋力低下がみられるが、このとき筋電図

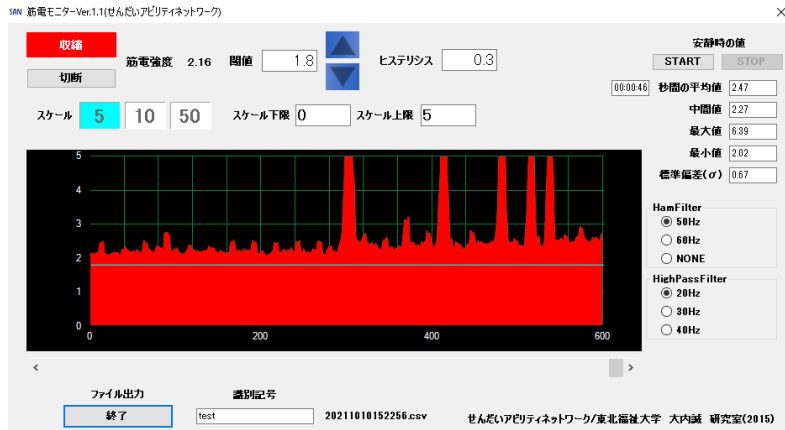


図2 筋電モニター表示

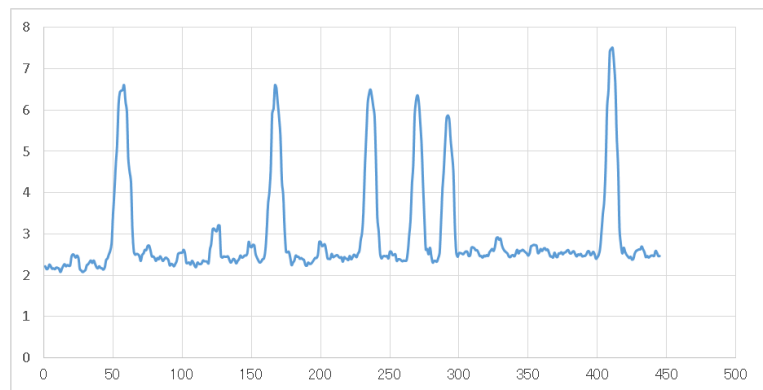


図3 エクセルデータ可視図

の波形もピークが減少し、同じ筋力を維持しようとする作用で、よりたくさんの筋を動員しようとして筋電図の波形振幅が一時的に増加することも見られる。

6 まとめ

- (1) 筋電図の計測について生徒実習を行い、計測した結果について、解析方法を生徒に指導し可視化した。結果に関しては、生徒に説明し、その結果について生徒同士で意見交換した。実験後のディスカッションとして、グループ内で意見の交換を行い、グループの意見を代表者が全員の前で発表させ、積極的に意見が出てくるように指導した。
- (2) 本研究を遂行するに当たり、新型コロナ感染拡大防止の観点から、最善の感染予防を取って実習を行なった。新型コロナの影響で、いろいろな点で影響が出たが、実習後、結果内容をまとめ、結果を検討しその研究データを集めて分析し、実習内容を吟味した。
- (3) 筋電図発生仕組み、測定・評価方法を理解し、医療に応用できる知識を習得することができた。

謝辞

本研究は、公益財団法人中谷医工計測技術振興財団の助成を受けて実施したものである。多大なる御支援をいただいた中谷医工計測技術振興財団に心から感謝いたします。コロナ禍の中、様々なことに対応していただきました。ここに記して心よりお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 筋電位センサ IWS940 開発キット 「マッスル・リンク」 マニュアル・取扱説明書