

## 第6回 表面筋電図の計測

### 6.1 概要

今回の実習は、生理学データの取得の第2段として、表面筋電図の計測を行う。

- 表面筋電図とは何か？
- 表面筋電図計測の実際
- 表面筋電図の解析

#### 6.1.1 目的

今回の実習では、身体運動の生理学事象を捉えるために、表面筋電図の計測を行う。筋電図 (EMG: Electromyogram) は中枢からの筋への運動指令をあらわしている。特に皮膚表面で計測する筋電図のことを、表面筋電図 (surface Electromyogram) と呼ぶ。この表面筋電図に関する発生機序と、計測の基本を理解することが今回の目的である。

### 6.2 表面筋電図の理解

筋電図計測は、ヒトの筋のなかでも随意運動をしている骨格筋を対象としている。大脳から送られる信号によって筋は収縮を行いヒトの運動を可能としているが、このとき上位中枢から送られてくる運動の指令は、運動神経 ( $\alpha$  Motor Neuron,  $\alpha$ MN) によって神経インパルスの列として送られてくる。運動神経の終端は神経筋接合部 (neuromuscular junction) または、神経終板 (endplate) と呼ばれ、ここに神経インパルスが到達すると、末端からアセチルコリンが放出される。これが筋原線維 (myofibril) の表面にあるイオンチャンネルを開かせ、ナトリウムイオンが移動する。これによって筋原線維膜上が通常は、マイナス 70mV 程度であるのが、脱分極 (depolarization) を起こし、プラス 30mV 程度の電位まで変化する。このように筋原線維上で変化した電位変化は隣あう箇所次々と伝播していく。このときの伝播速度は約  $3m \pm 6m$  程度である。

1本の運動神経は1つ以上、通常は複数の筋原線維を支配している。こまかな制御が必要な指先のような筋では、この支配される筋の数は少なく、逆に大きな動作をつかさどる大筋群では1本の運動神経が支配する筋線維数は多い。この1本の運動神経に支配される筋群のことを運動単位 (Motor Unit, MU) とよぶ。

筋張力は、全か無かの法則 (all-or-none law) に支配されている。すなわち、運動単位 MU は興奮するかしないかのどちらかしか状態をとらない。デジタル的な振る舞いをするわけである。

### 6.3 表面筋電図計測の手順

表面筋電図の計測には、筋電計が必要であるが細かくみると、筋電計に付随する様々な器具も重要であるので、確認のために以下に挙げておく。また筋電計の取り扱いについては、各社から

発売されている筋電計の固有の機能などもあるために、すべて同じ手順で計測が出来るとは限らないので注意しなければならない。まずは各自が扱うことになる筋電計のマニュアルを熟読して使用方法とその限界を把握しておかなくてはならない。

### 6.3.1 準備するもの

表面筋電図計測では以下のようなものをハードウェアとして準備を行う。

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)

### 6.3.2 計測手順

#### 計測プロトコル

1. 筋電計測器ならびに、ビデオ撮影装置や、フォースプレート・力計測の装置などを準備する
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. 電極を貼る
  - (a) 電極に電気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) アース電極 (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，計測アンプまで引き伸ばす
7. 筋電アンプ本体にもアースを行う
8. 安静時に筋電をモニタリングして，計測が出来ているかどうかの確認をする．以下の点に注意する
  - (a) ハムノイズが混信していないか
  - (b) ケーブルの動揺が信号に現れていないか
  - (c) 基線動揺を起こしていないか
  - (d) 基線にノイズが乗って太く表示されていないか
9. MVC(Maximal Voluntary Contraction) を計測する．
10. 運動課題を行わせる．このとき運動課題の開始と終了と筋電図との詳細な時間ずれや知りたい場合には，物理量との時間整合性をとるために，同期信号を筋電アンプの情報と重ねる

## 6.4 分析方法

表面筋電図計測で得られる波形は，時系列データでありかなり大きな波形が得られる．得られた波形は，各筋群の運動におけるタイミングを個別のヒトで確認するには，原波形の観察でよい．

ところが、他者との比較や、異なる試行間で筋活動を比較しようとすれば毎回異なる筋電図の大きさについて基準となるものさしが必要である。通常、MVC(Maximum Voluntary Contraction)を用いる。MVC は等尺性収縮において最大収縮を行った際の筋活動と毎回の試行における筋活動との比較をするために用いる。

$$\%MVC = \frac{MVC}{EMG} \times 100 \quad (6.1)$$

平均振幅には、2つの計算方法がありどちらの方法も良く用いられる。

#### 6.4.1 RMS(Root Mean Square)

自乗平均平方が RMS である。これは一定時間の筋放電における筋電信号を二乗して、範囲内の平均を求めたあとで、平方根をとったものである。

$$RMS(t) = \sqrt{\frac{1}{2T} \int_{-T}^T e^2(t + \tau) d\tau} \quad (6.2)$$

#### 6.4.2 ARV

整流平滑化 (Average Rectified Value) とよばれる。振幅の絶対値を求めることを整流 (rectification) とよび、その後それを一定時間で積分するか、あるいはローパスフィルタで平滑したものを ARV とよぶ。

$$ARV(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} h(\tau) |e(t + \tau)| d\tau \quad (6.3)$$

### 6.5 歩行の発達

新生児が歩き始めるまでには、それほど時間はかからない。早ければ1年未満でヨチヨチ歩きではあるが、自分の意志で歩きまわる。教科書 141 ページには、乳児型歩行から成人型歩行にいたる過程でみられる筋電図の変化が示されている。乳児歩行の筋電図をみると明らかなように脚部の拮抗筋同士がともに歩行周期中に発火しているのに対して、成人型歩行になると拮抗筋同士が時間的に交互に発火をしていくパターンに移行している様子がみとれる。

成人における歩行筋電図 (図 6.9) によれば一周期のなかで筋活動が綺麗に拮抗して現れていることが読み取れる。これに対して陸上競技の競歩では、下肢筋のより大きな放電がみられるとともに上肢の積極的な運動への関与が筋電図的研究から読み取れる (図 6.10)。図 6.10 の上半分は下肢筋電図を積分筋電位 (iEMG) としてあらわしている。下半分は得られた筋電図をそのまま表示している。

### 6.6 考察

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ことに気がつくであろう。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、このとき筋電図の波形もピークが減少する、と考えてもおかしくはないが実際には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。



図 6.11: EMG 計測実習 (慶應大仰木研・東工大丸山研合同合宿)

## 参考文献

- [1] Kingston Bernard, 足立和隆訳. よくわかる筋の機能解剖. メディカルサイエンス・インターナショナル, 2000.
- [2] Thompson Floyd, 中村千秋, 竹内真希. 身体運動の機能解剖 (Manual of Structural Kinesiology). 医道の日本社, 1997.
- [3] 八田秀雄. 乳酸を活かしたスポーツトレーニング. 講談社, 2001.
- [4] 八田秀雄. エネルギー代謝を活かしたスポーツトレーニング. 講談社, 2004.
- [5] 八田秀雄. 乳酸. 講談社, 2007.
- [6] 金子公宥, 福永哲夫 (編). バイオメカニクス, 身体運動の科学的基礎. 杏林書院, 2004.
- [7] 吉福康郎, 池上康男. 格闘技における打の動作. *Japanese Journal of Sports Science*, Vol. 3, No. 3, pp. 188–198, 1984.
- [8] 伊藤朗 (編). 図説 運動生化学入門. 医歯薬出版, 1987.