

## 18. カエル神経筋標本による筋収縮

1. 目的: 骨格筋に運動神経をつけた神経筋標本を用いて、神経の電気刺激で生じる骨格筋の収縮の特性を理解する。

2. 準備:

(1) 材料と装置:

動物材料: ウシガエル

器具など: 剪刀(骨、大、眼科用小)、ピンセット(大、小)、木綿糸(#40、#20)、柄付針、シャーレ、リンゲル液、三角コルベン、ピペット、トレー、刺激電極兼標本固定棒(以下、刺激極電極棒)、スタンド、クランプ、張力トランスデューサ、ブリッジ・ポッド、PowerLab、パソコン、記録表(教卓にあるので足りなくなったら取りに来ること)



図18-1. トランスデューサと刺激電極。左から旧タイプ張力トランスデューサ用ブリッジ・ポッド(前面のつまみを回してゼロ調節を行う)、旧タイプ張力トランスデューサ、新タイプ張力トランスデューサ・アダプタ、新タイプトランスデューサ、刺激電極兼標本固定棒(以下刺激極電極棒、先端の2本の金色部分が電極でここに座骨神経を置く)、同左のバナナコネクタ。

#####  
トランスデューサとは

物理化学的量を電気信号(多くは電圧変化)に変換する部品、器具をトランスデューサ transducer という。今回は筋が発生する力の大きさを電圧に変換するトランスデューサを使う。デジタル・体重計も同じトランスデューサを使い重さ(重力)を電圧に変換しデジタル表示しているものである。

筋収縮の程度を変換するトランスデューサには2種類ある、

○張力トランスデューサ

金属にひずみを加えると電気抵抗が変わる。この性質を利用して力を電圧に変換する機器が張力トランスデューサである。筋肉につなげて筋が発生する力を電圧として測定する。金属のひずみはごくわずかなので筋が収縮しても筋の長さが変わらず発生張力を測定できる。等尺性収縮を調べることになる。今回はこの張力トランスデューサを用いる。

○変位トランスデューサ

天秤の一方に力が加わると回転する。この回転角度に比例した電圧を出力する装置が変位計である。天秤の一方に筋肉をつなげる。天秤の反対側に重りを付ける。筋が短縮して天秤が回転すると、その回転角度に応じた電圧変化が筋の長さ変化として測定される。重りが一定なので等張性収縮による筋の長さの変化の測定になる。

#####

## (2) PowerLab と測定装置の設定

標本の作成に関わっていない者が以下の準備を行う

- 1) 張力トランスデューサと刺激極電極棒をスタンドに固定しておく。張力トランスデューサの DIN8P コネクタをチャンネル1に、電気刺激棒の赤バナナチップを OUTPUT の+に接続した変換アダプタ (赤) に黒バナナチップを OUTPUT の-に接続した変換アダプタ (黒) に接続する (図18-2)。

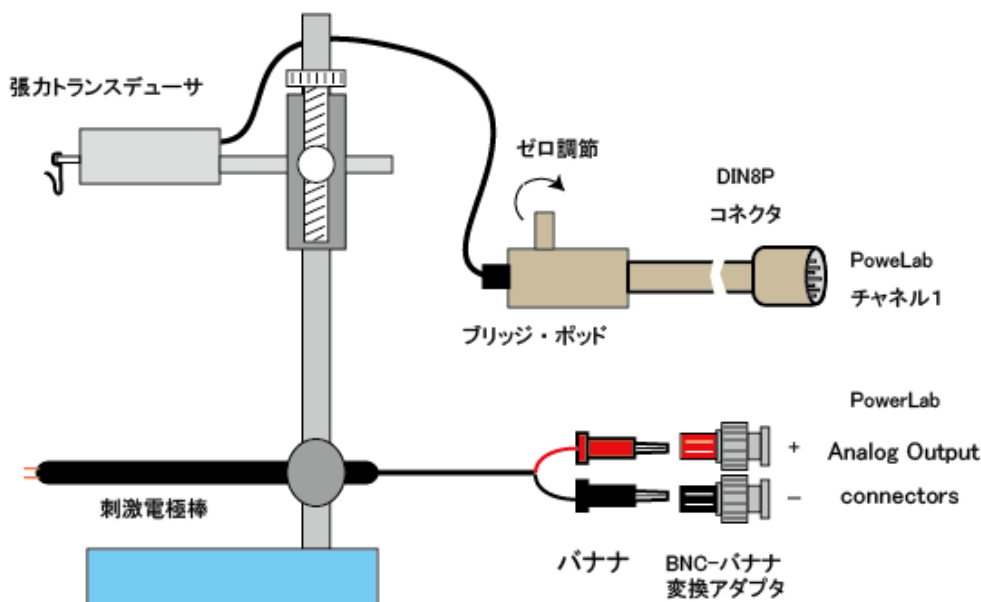


図18-2. トランスデューサと刺激電極棒の配置と配線。(新タイプのトランスデューサにはブリッジ・ポッドはない)

- 2) PowerLab とパソコンを USB ケーブルで接続し、PowerLab の電源をいれてから、設定ファイル、旧タイプのトランスデューサの場合は「カエル神経筋」を、新タイプのトランスデューサの場合「カエル神経筋 NewTrans」

をダブルクリックしてプログラムを起動する。

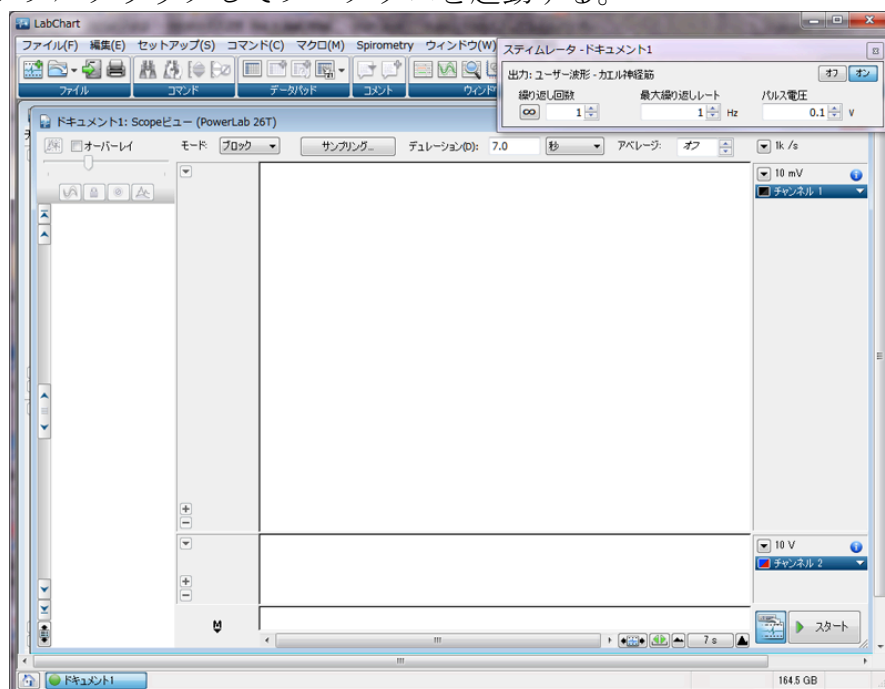


図18-3. 起動画面。Scope ビューがでていないときはメニューのウィンドウから、スティムレータ・パネルがでていないときはメニューのセットアップから開く。

### 3) 張力トランスデューサのゼロ設定

#### 3-1) 旧タイプトランスデューサの場合

Scope ビューのウィンドウの右上のチャンネル1をクリックしてプルダウンメニューを表示し、「BridgePod」を選択する。

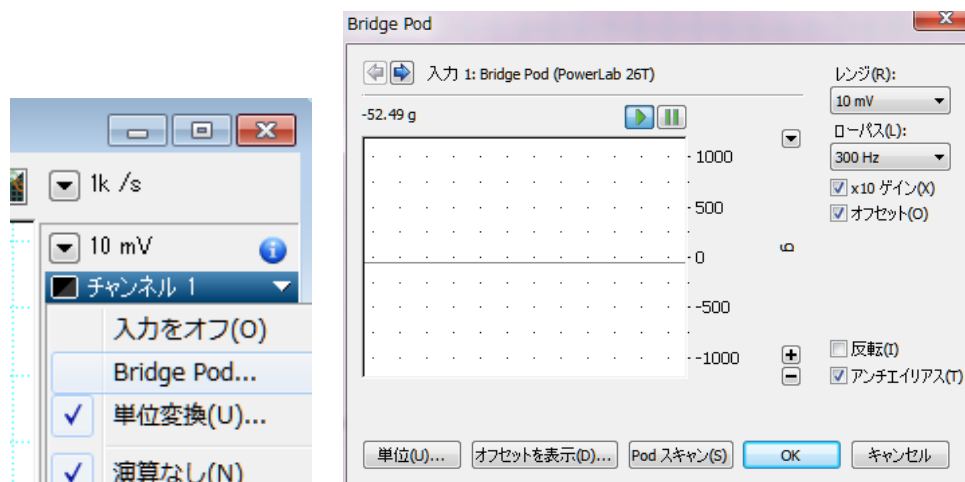


図18-4. ブリッジ・ポッドの設定

オフセットを表示 ボタンをクリックする。

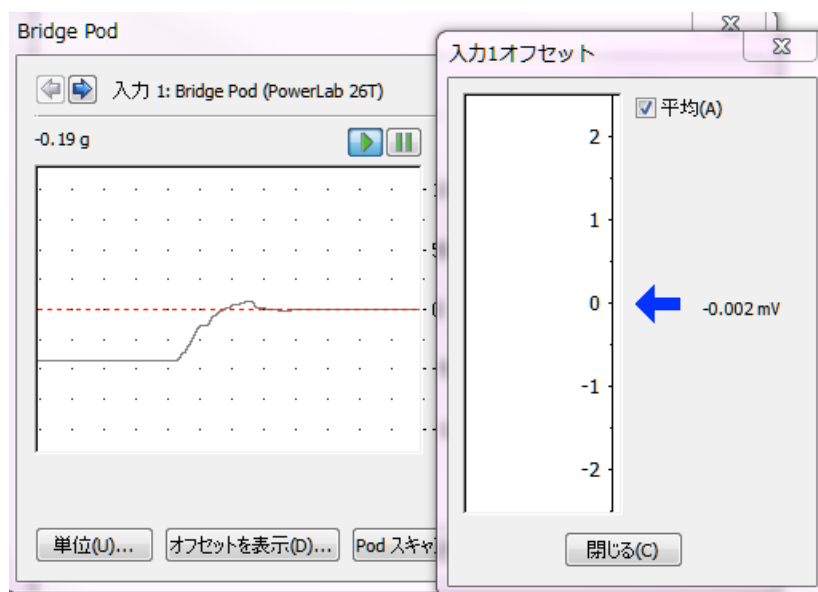


図18-5. ゼロ設定

ブリッジ・ポッドの前面にあるつまみを回転させ、 $0.000 \pm 0.005$  mV になるように調節する。トランスデューサに力が加わっていないときゼロを示すためである。実際に筋標本をぶら下げたとき、再度このゼロ調節を行う。ぶら下げたときに筋の重量や筋の静的な張力（筋を引っ張ったときに生じる力）がトランスデューサにかかる。この値をゼロとしておかないと、発生した張力の大きさがわからないからである。

### 3-2) 新タイプのトランスデューサの場合

Scope ビューのウィンドウの右上のチャンネル1をクリックしてプルダウンメニューを表示し、「500g Force」を選択する。

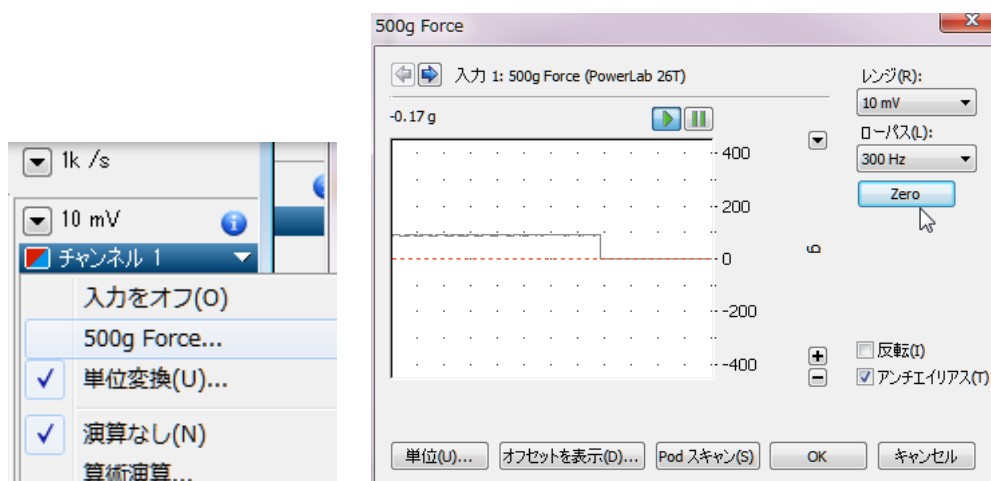


図18-6. 新タイプトランスデューサのゼロ設定

ZERO ボタンをクリックする。トランスデューサに力が加わっていない

ときゼロを示すためである。実際に筋標本をぶら下げたとき、再度このゼロ調節を行う。ぶら下げたときに筋の重量や筋の静的な張力（筋を引っ張ったときに生じる力）がトランスデューサにかかる。この値をゼロとしておかないと、発生した張力の大きさがわからないからである。

校正メモ：以下は設定済みなので特に操作することはない

旧タイプトランスデューサ： 115g/mV、Max:500g

新タイプトランスデューサ：45g/mv、Max 500g

#### 4) 刺激パラメータの設定

メニューのセットアップからスティムレータを開く

名前の欄が「ユーザ波形-カエル神経筋」となっていることを確認して閉じる。

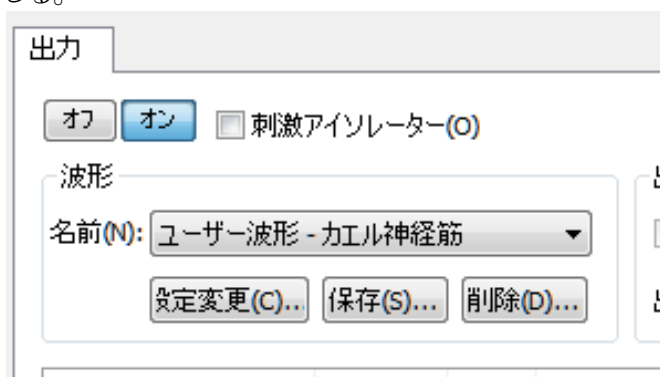


図18-7. スティムレータ・ウィンドウ

スティムレータ・パネルが出ていないときは、メニューのセットアップからスティムレータ・パネルを開く。

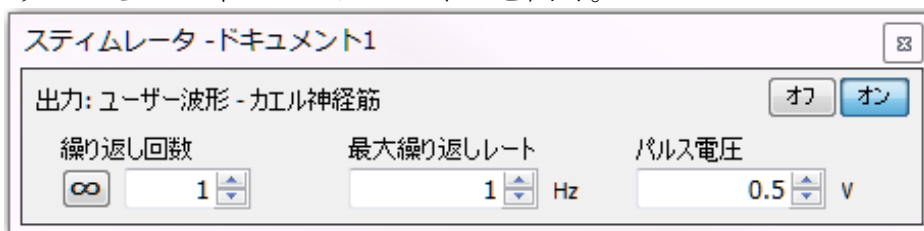


図18-8. スティムレータ・パネル

繰り返し回数：何発のパルスで刺激するかを設定する。初期値1。

最大繰り返しレート：何ヘルツで刺激するかを設定する。初期値1。

パルス電圧：刺激強度（電圧）を設定する。初期値 0.1 V。

刺激-反応曲線を得るためには1発の刺激で実施し、パルス電圧を変化させる。

刺激頻度を変化させた時の反応を調べるためには、どのような刺激頻度でも5秒間刺激することにする。したがって最大刺激レートで設定した頻度 x 5が繰り返し回数になる。例えば 20 Hz で5秒間刺激するのなら

20 X 5 = 100 が繰り返し回数となる。

### (3) 神経一筋標本の作成

カエル神経筋標本の作成マニュアルに従い、神経筋標本を作成する。

### (4) 神経一筋標本の固定

- 1) 大腿骨を刺激電極棒の黒い太い部分にビニタイで2カ所以上しっかり固定する。
- 2) 張力トランスデューサを低い位置に設置しアキレス腱を結紮した糸を張力トランスデューサのフックに縛る。
- 3) 糸-アキレス筋-腓腹筋-膝関節が垂直になるように刺激電極棒の位置、張力計の位置を調節する。
- 4) 糸がたるまないように張力トランスデューサを引き上げる。筋を軽く引っ張るような位置がのぞましい。
- 5) 座骨神経を刺激電極（2本の金属棒）に乗せる。神経はより中枢側がのぞましい。筋近傍を刺激することにより刺激電流が直接筋にながれ、筋を直接刺激することがないようにする。
- 6) 神経や筋が乾燥しないようにリンガー液を時々かける。

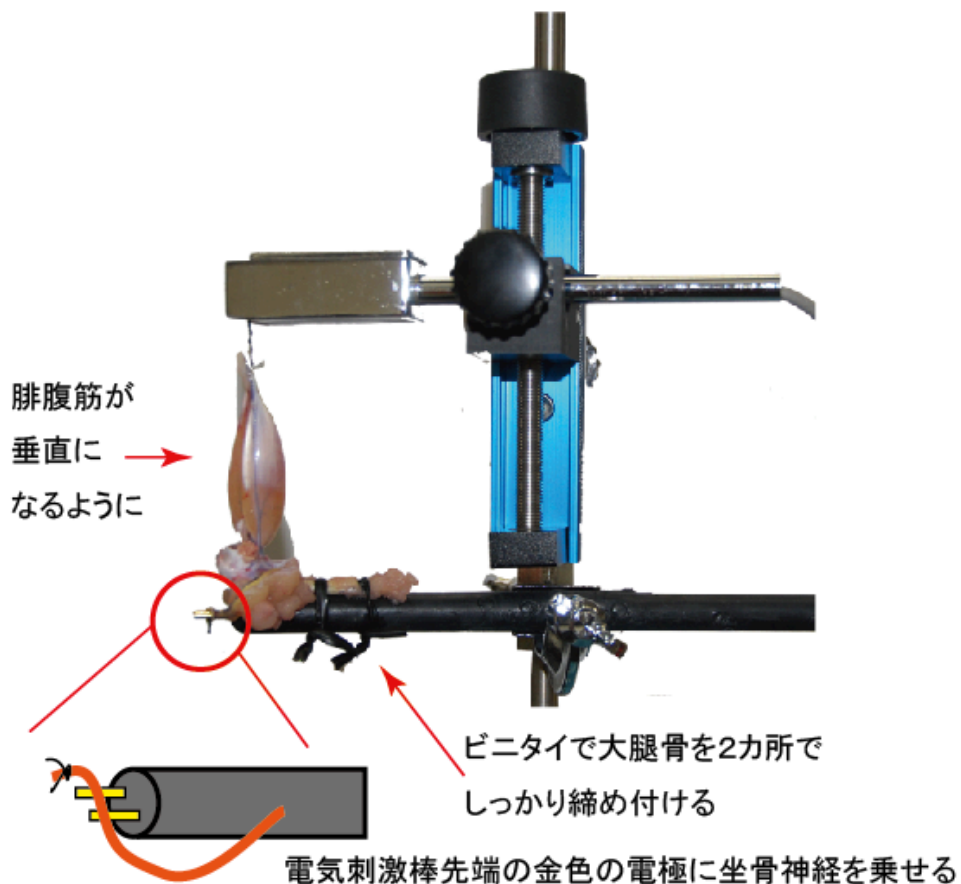


図18-9. 神経筋標本の配置

7) ブリッジポッドのつまみを回転させて、あるいはゼロ調節で刺激していない状態で出力がゼロになるように調節する（上記（2）-3）参照）。

### 3. 筋収縮曲線の観察

#### （1）坐骨神経電気刺激による単収縮の閾値を調べる。

1 発だけの刺激で、刺激強度（電圧）を変化させたときの収縮力を測定する。閾値、最大反応刺激を計測し、刺激-反応曲線のグラフが描けるようデータを取得する。

#### （2）単収縮、不完全強縮、完全強縮の観察

刺激頻度を1～50Hzの範囲で変化させ、5秒間刺激したときの収縮力の変化を測定する。

### 4. 結果

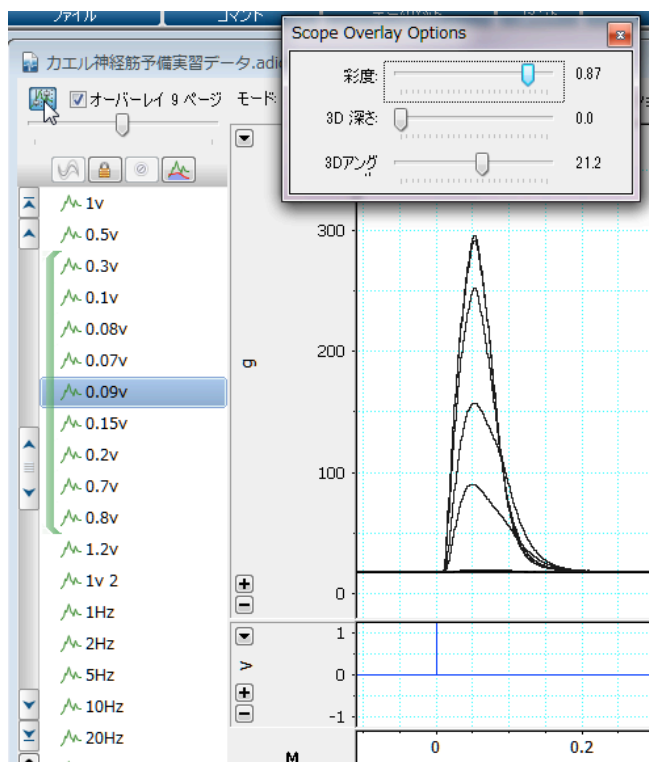


図18-10. オーバーレイ機能

1) 閾値、最大刺激強度の電圧(V)を明記するとともに刺激-反応曲線のグラフを書く。Scope ビューのオーバーレイ機能を使うとスマートに結果を表示できる。

オーバーレイにチェックを付け左のアイコンをクリックするとトレースの濃さを調節できる。

2) 単収縮、不完全強縮、完全強縮のデータを示す。

## 5. 考察

実験結果の1)と2)についてそれぞれ考察しなさい。考察のヒントは以下の設問にある。

## 6. 設問

- 1) 実際の運動ではどのような運動が等張性収縮、等尺性収縮あるいは求心性収縮、遠心性収縮なのか、手にダンベルを握り、肘関節を屈曲伸展するときに上腕二頭筋を例に、述べよ。
- 2) 実際の筋収縮を単収縮、不完全強縮、完全強縮とは分類できない。人工的に電気刺激したときのみこのような分類が可能である。何故か。
- 3) 神経も筋も興奮性細胞の興奮はAll or Noneである。つまり閾値を越えた刺激強度では反応の大きさは変わらない。反応が生じるか生じないかだけである。しかし、今回は閾値と最大刺激強度の間の刺激強度では刺激強度が異なると発生張力の大きさは異なった。何故か。