

低侵襲・高強度 体組織融着システムに関する研究

Tissue adhesion technology with low level energy integration

05T1008F 石田 勝則

指導教員：増澤 徹 教授

1. 緒言

糸と針に替わる生体組織融着技術として、止血や血管の吻合などを目的とした超音波メスや電気メス、レーザーの応用が検討されている。しかし、これらの高エネルギーを用いた生体組織融着では生体組織の損傷が問題となる。そこで、我々は、生体組織に振動、熱、圧力の3種類の低エネルギーを同時に与えることで、低損傷な生体組織融着を行う新しい技術を開発している。本研究では、本方式に基づいたピンセット型融着装置の考案および専用の温度制御システムを開発した。

2. 方法

2.1 融着方法および装置概要

本融着方法では生体組織のコラーゲン繊維に熱エネルギーを加えてゲル化を生じさせ、圧力と振動エネルギーを同時に与え、ゲル化したコラーゲン繊維の混合促進をすることで融着する。これまでの研究で融着対象の組織温度が 80℃、振動振幅 10 μm 程度、振動周波数 12 kHz、圧力 1.5~2.5MPa 程度が融着に適していると分かっている。この中でも温度の変化が組織の融着強度や損傷具合に大きく関与している。

低エネルギー複合による融着技術を用いた融着装置として、ピンセット型融着装置を考案した。Fig.1にピンセット型融着装置概要図を示す。先端部の黒で示す部分に加熱素子を用いて熱を加え、グリップ部を握ることにより圧力を加え、先端の開閉部の片側を振動させる構造となっている。また、先端部は上下に加熱素子を設置し、内側だけ加熱できるように外部は断熱する。上下の温度センサで上下の加熱素子の温度制御を行う。生体組織融着時の温度制御を行うため、専用の温度制御システムを構築した。本システムはプログラマブルICdsPIC30F3012を用いてPWM信号を発生させPID制御を行う構造とした。加熱素子には抵抗値 13.1 Ω のニクロム線を用い、温度制御では加熱素子を融着に適する温度である 130℃で一定に制御させるように目標設定をした。

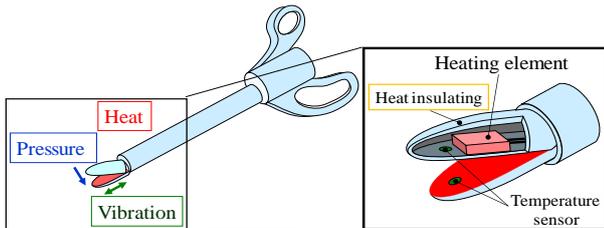


Fig.1 Tweezers tissue adhesion device

2.2 PWM アンプ

PWM アンプは dsPIC30F3012 から出てきた PWM 信号を FET に入力し、電圧増幅を行うことによって加熱素子に流れる電流を変化させる。また、電流の平滑化には 300 巻、600 巻、1000 巻の平滑化コイルを直列に接続し、還流ダイオードを並列に接続した。PWM アンプの精度検証を FET の電圧を 35 V として、入力電圧と 0.5 V 刻みで出力電圧を 3 回測定し、線形近似直線との比較を行った。

2.3 周波数応答

製作した PWM アンプの周波数応答を測定した。PWM アンプの平滑化コイルを変化させ周波数応答を測定した。

2.4 PID 温度制御実験

ニクロム線の温度を目標値 130℃として、それぞれの平滑化コイルについて PID 温度制御実験を行った。PID ゲイン

は限界感度法により求めた。

3. 結果および考察

3.1 整流用コイルと周波数特性

平滑化コイルの巻数とカットオフ周波数の関係を Table.1 に示す。平滑化コイルの巻数を増加させるとローパスフィルタの役割を果たしカットオフ周波数が低下し、線形性が高くなることを確認した。また、コイルを増加させるとインピーダンスが増加し、加熱素子に流れる電流が減少した。PWM アンプに電流フィードバック機構を設けることにより線形性能の向上が図れるが、平滑化コイルを 1000 巻にしても発熱に必要な電流を流すことができるために今回は電流フィードバック機構は付加しないで制御実験を行った。

Table.1 Cutoff frequency

	300turns	600turns	1000turns
Cutoff frequency [Hz]	354	75	31

3.2 PID 温度制御実験

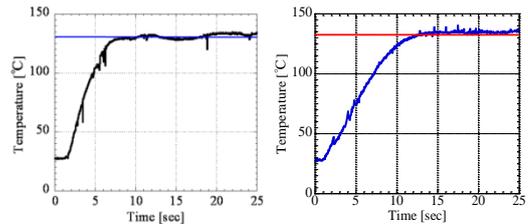


Fig.2 Heater temperature with 300 turns

Fig.3 Heater temperature with 1000 turns

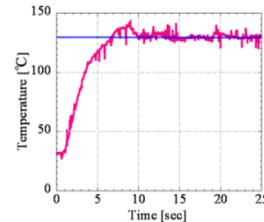


Fig.4 Heater temperature with 600 turns

Fig.2~Fig.4 にそれぞれの平滑化コイルに対するニクロム線温度を示す。Table.1 に限界感度法で求めた PID ゲインを示す。ゲインを調節することにより、それぞれの平滑化コイルに対して 10 秒程度で目標温度一定に制御することができた。

Table.1 PID parameter

	300turns	600turns	1000turns
P gain [mA/°C]	0.22	0.66	0.60
I gain [mA/°C · sec]	0.44×10^{-3}	1.34×10^{-5}	0.75×10^{-4}
D gain [mA · sec/°C]	0.066	0.2	0.33

4. 結言

本研究では、低侵襲・高強度生体組織融着システムの開発を目的とし、ピンセット型融着装置の考案および専用の PID 温度制御システムの製作を行った。平滑化コイルの巻数と PID ゲインを調節することにより、ピンセット型融着装置先端部分の温度制御を可能とした。今後、実際に生体組織を融着する実験を行い、生体組織の熱放散能の温度制御性能への影響等を検討していく。