

## 超音波技術を応用した血管吻合装置の研究

## Study on the vascular anastomosis device using the ultrasonic technology

○ 城間 俊成 (日本工大) 中里 裕一 (日本工大)

Toshinari Shiroma (Nippon Institute of Technology)

Yuichi Nakazato (Nippon Institute of Technology)

**Abstract:** In currently, capillary anastomosis under microscope is not uncommon in the medical technology, and miniaturization of surgery keep getting smaller and smaller. But, the vascular anastomosis under microsurgery in very difficult, so, there are few doctor who can operate vascular anastomosis. Because the automatic vascular anastomosis device is easy to treat, it does not matter the skill of the doctor. Also, the time of the operative duration become shortened and the burden of the patient become reduced with the introduction of this system. In this Research, we develop new vascular anastomosis technique and anastomosis device for microsurgery. As a new vascular anastomosis, we propose a anastomosis technique of applying the ultrasonic welding technology. In this report, we fabricated an ultrasonic vascular anastomosis device to perform anastomosis experiments with artificial blood vessel.

**Key Words:** Microsurgery, Vascular anastomosis ,

## 1. 目的

近年医療分野、生命化学分野、エレクトロニクス分野といった技術領域において、取り扱う物体の大きさは微小化の一途を辿る。医療分野では、例えば毛細血管接合手術や血管内治療といったように手術対象の微小化が進み、分子生物学では、細胞や遺伝子の取り扱いなどが挙げられる。<sup>(1)</sup> マイクロサージャリーとは、マイクロスコブを用いて行う顕微鏡下外科的手術であり、手術対象となる血管は非常に微小な毛細血管等である。そのため、手術を行う医師に対して高度な技術と経験が要求され、手術が行える医師は少なく、限られている。また、血管吻合手法の主流となる針と糸を用いた縫合は、難易度が高い上、縫い幅の荒さによる漏れや、離脱の恐れ、さらに、術後には抜糸を行わなければならない。さらに縫合は作業工程が多いため、手術時間も長くなり、患者にかかる負担は大きくなる。これらの問題を改善することにより、手術難易度の低下による手術可能医師の増加や、作業工程の削減による手術時間の短縮と、それに伴う患者への負担の軽減等を目指し、自動血管吻合装置の開発を行う。

## 2. 超音波技術について

超音波の利用について、Table. 1 に示すように分ける事ができる。<sup>(2)</sup> この中で、超音波のパワー・エネルギーを利用するものは、主としてその超音波域の超振動を利用し、対象に超振動を加える事によって加熱や破砕等の物理干渉を行う。その技術は医療用にも応用され、代表的なものに超音波メス等がある。超音波メスは超音波振動を人体組織に与えることで摩擦による振動熱の発生させる。この時組織内のたんぱく質はコアギュラムという物質に一時変性し、組織同士が溶着した後凝固する。さらに機械的擦過を行うことで切開・切除を行うことも可能となる。

Table. 1 Application of a ultrasonic device

	Example
Exploratory purposes	Sonar, Fishfinder, distance meter, Nondestructive inspection,
Power source	Ultrasonic welding, Humidifier, Cleaning device, Therapy apparatus,
Other	Quartz oscillator, Bug prevention,

## 3. 吻合装置の設計方針

## 3-1 超音波装置

血管吻合装置に用いる超音波発振装置は Fig.1 に示すスズキ株式会社の超音波ホッチキス「はるる (SUH-30)」を採用する。この製品は熱可塑性樹脂等を微細な超音波振動と加圧力によって強力な摩擦熱を発生させ、瞬時に溶融し、接合する事が可能である。本製品は溶着時間調節ツマミが付いており、スイッチ入力後の溶着時間を任意に調節できる。これにより溶着強度の調整や様々な肉厚に対応することが可能である。また、本製品は分解が容易であり、実験に用いるのに最適な製品であることから、本製品の超音波発信装置と振動子を利用し、血管吻合装置の製作を行う。



Fig. 1 Appearance of ultrasonic device

## 3-2 吻合対象

マイクロサージャリーにおいて吻合対象となる血管の大きさは直径  $500\mu\text{m}$  ~  $2\text{mm}$  と非常に微小である。直径  $2\text{mm}$  以下の血管を吻合できる能力がなければ、マイクロサージャリー用の血管吻合装置としての目的は果たせない。そのため本研究では、直径  $2\text{mm}$  の疑似血管などをマイクロサージャリー手術において吻合対象とされる微小血管と見立てて、疑似血管同士の接合が行える装置の設計開発を行う。

#### 4. 手持ち型超音波血管吻合装置の製作

##### 4-1 装置概要

超音波ホッチキスの振動子を組み込んで制作した超音波血管吻合装置を Fig.2 に示す。吻合部先端の溶着ビットは、吻合対象となる血管の種類や大きさによって形状が変わるため、交換ができる機構とした。溶着ビットを交換した場合、その形状によって噛み合わせがずれる事を想定し、2方向の噛み合わせ位置調節機構(±2.5mm)を、また血管吻合時の本体と対象の干渉を避けるため、溶着ビット取り付け角度を調節できるターンテーブル(±55°)などの位置調節機構を設けた。握り手位置調節機構(±5mm)によって握り位置を変更することが可能である。また、吻合圧調整機構は、調節ダイヤルを回して調節する事で加圧バネが圧縮され、吻合部先端噛み合い最大圧力の調節が可能である。

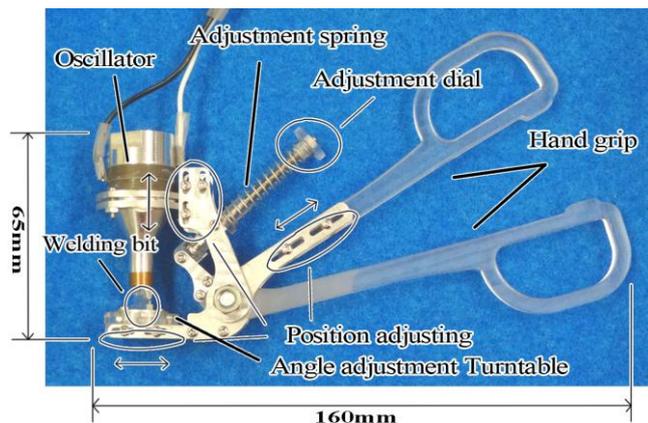


Fig. 2 Appearance of anastomosis device

#### 5. 実験

##### 5-1 疑似血管の選定

本実験では吻合実験対象に直径 2mm の疑似血管を用いた。また、疑似血管の素材は熱可塑性樹脂の PVC 軟化ビニルを選定した。これは、チューブのサイズや弾性率、また超音波溶着を行う際の反応が人体組織と似た特性を持っているためである。今回実験に用いた疑似血管の仕様を Table. 2 に示す。(3)

Table. 2 Specifications of the artificial vessel

Outer diameter	2mm	
Inner diameter	1.2mm	
Wall Thickness	0.4mm	
<b>Material</b>		
Thermoplastic resin - softening polyvinyl chloride		
Growth rate	200-450	(%)
Tensile modulus	2.5-4.2	( $10^4 \text{kg/cm}^2$ )
Upper temperature limit	66-79	(°C)

##### 5-2 超音波吻合血管の試験

Fig. 3 に示すような実験装置を組み、実験を行う。手順-(1)シリンジ内に疑似血液として着色した水を充填する。充填の際、気泡が入らないよう注意する。手順-(2)シリンジ先端を超音波吻合した血管に装着し、疑似血管内を疑似血液で満たす。手順-(3)反対側にもシリンジを装着する。この時、可能な限り内部に気泡が残らないよう注意して装着する。手順-(4)シリンジのピストンを動かし、疑似血管の漏れテスト及び、血液の流動試験を行う。手順-(5)片側のピストンを固定した状態で、反対側のシリンジを垂直に立て、ピストン上部に負荷を掛けて超音波吻合部の強度試験を行う。

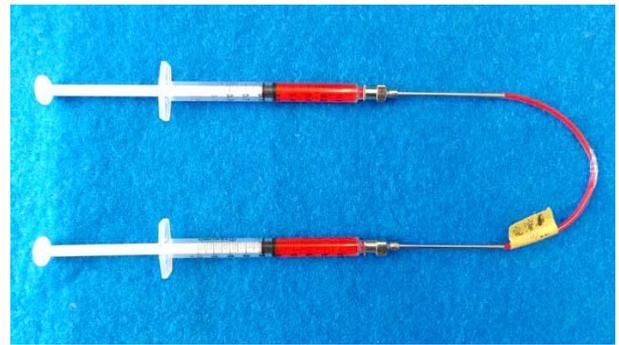


Fig. 3 Appearance of laboratory equipment

#### 6. 結果

一度切断された疑似血管を吻合することに成功した。また漏れ及び流動試験を行い、漏れが無くかつ管状であったことを確認した。強度試験では疑似血管内の疑似血液に 54.44 KPa の圧力を掛けても超音波吻合部に破損は見られなかった。これは通常、人体の血管に掛かる最大血圧約 150 mmHg = 19.99 KPa を大きく上回っている。Fig. 4 に吻合した疑似血管を示す。

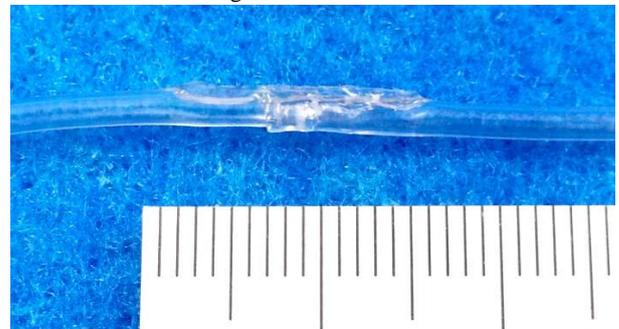


Fig. 4 Appearance of anastomotic part of artificial vessel

#### 7. 今後の課題

本研究で制作した超音波血管吻合装置では、吻合作業を行う際、血管を押さえる動作や血管壁を重ね合わせるといった作業はピンセットを用いて手動で行うため、ズレが生じやすく、血管吻合の成功率が低い。また吻合工程自体は作業時間が短いものの、手作業による吻合位置の調整などの動作に時間が掛かるといった問題点が残る。確実な血管吻合を行うためには血管吻合装置とはまた別に専用の補助器具が必要となるか、または装置そのものを見直す必要がある。さらに、直径がより小さい血管にも対応出来るよう装置の改良や、血管吻合に掛かる時間をさらに短縮するために、ワンアクションで動作するような機構の検討を行い、吻合工程を更に減らし、吻合作業の簡略化を目指していくと共に、将来的には臨床実験による実際の血管を用いた実験を進め、血管吻合装置の実用化を目指していく。

##### 参考文献

- (1) 新井史人,安藤大介,福田敏男,マイクロ領域の物理現象に基づくマイクロマニピュレーション日本帰化医学界論文集, p.164,1996.
- (2) 本多電子株式会社,超音波ハンドブック(第2版) 聞こえない音の世界,2008
- (3) 株式会社ハギテック,チューブ&コネクタ総合カタログ Vol.2, p.214,p.216,p.239,2012.