

## 複合低エネルギー生体組織接合における生体組織含水率と接合強度の関係

The relationship between adhesion strengths and moisture contents of living tissues on the integrated low energy adhesion

○諏訪 陽祐 (茨城大) 増澤 徹 (茨城大) 長 真啓 (茨城大)

尾関 和秀 (茨城大) 岸田 晶夫 (医科歯科大) 樋上 哲哉 (札医大)

Yosuke SUWA, Toru MASUZAWA, Masahiro OSA, Kazuhide OZEKI, Ibaraki University

Akio KISHIDA, Tokyo Medical and Dental University

Tetsuya HIGAMI, Sapporo Medical University

**Abstract:** We have been developing the Integrated Low Energy Adhesion Technique (ILEAT) that can adhere living tissues with minimal invasion by using of heat, pressure, and vibration. The relationship between the moisture content of the living tissue and the adhesion strength was investigated in order to figure out the adhesion mechanism. Living tissue specimens which has two type of moisture content were prepared, and the specimens with same moisture content were adhered with an adhesion temperature of 100 °C and an adhesion pressure of 2.5 MPa for 1 minute. The adhesion strength indicated significant difference at the 0.05 level. Living tissue specimens which has uniformity of moisture content were adhered with nine conditions. Standard deviation of the adhesion strength with each condition was smaller than that of non-treated specimens. These results indicate that the adhesion strength is affected by the moisture contents of living tissues.

**Key Words:** Integrated low energy adhesion technique, Moisture content, Living tissue

### 1. 緒言

外科手術において、血管の接合や止血には縫合糸、電気メス、超音波メスが用いられている<sup>(1)</sup>。しかし、縫合は術者に技量に左右されると共に時間がかかる。電気メスや超音波メスは生体組織を炭化させるため術後出血の原因ともなる<sup>(2)</sup>。そこで我々は、熱、圧力、振動を複合して生体組織に与えることにより、それらを低損傷で接合する、複合低エネルギー生体組織接合技術の研究開発を行っている。本接合技術は、生体組織同士の接合だけでなく、脱血管と心臓のような、金属と生体組織との接合も可能である<sup>(3),(4)</sup>。しかし、その接合原理は生体組織の構成タンパク質であるコラーゲン線維の変性によるものと推定されるだけで、十分に解明されていない。そこで本研究では、接合原理解明の一助として、生体組織の含水率と生体組織同士の接合強度の関連を調査した。

### 2. 方法

#### 2.1 生体組織含水率

ブタ大動脈内皮を長さ 20 mm、幅 8 mm、厚さ 0.5 mm に切る。それを 10 % 食塩水、0.9 % 食塩水に 12 時間浸し、含水率の異なる、2 種類の生体試料片を作成した。生体試料片の含水率は、凍結乾燥機を利用して、凍結乾燥前後の質量を計測し、

$$\alpha = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \quad [\text{g/g}] \quad (1)$$

から算出した。ただし  $M_1$  は生体試料片の凍結乾燥前の質量、 $M_2$  は凍結乾燥後の質量である。

#### 2.2 生体組織接合実験

生体組織含水率の違いが接着強度に与える影響を検討するために、同じ溶液で作成したサンプル同士を、図 1 に示す生体組織接合装置を用いて接着した。接合装置は、上部ヒータ、下部ヒータ、試料台、リニアスライダで構成され

る。リニアスライダを介して上部ヒータを降ろし、下部ヒータとで生体試料片をはさみこむことにより、加圧と加熱を同時に行った。加圧力は、上部ヒータに取り付けた皿に重りをのせることで調節した。加熱は、ヒータ先端に取り付けた熱電対からの信号を、AD 変換器でコンピュータに取り込み、デジタル PID 制御器、DA 変換器、リニアアンプを用いてヒータ先端に巻き付けたニクロム線に流す電流をフィードバック制御することにより行った。10 % 食塩水含浸試料は加熱温度 100 °C、加圧力 2.5 MPa、加熱時間 1 分間で接着した。また、均一化した含水率が接着効果に与える影響を調べるために生理食塩水含浸試料および非含水試料の 2 群を用意して、種々の条件で接着、その強度評価を行った。接着条件は加熱温度 60 °C、80 °C、100 °C、加圧力 0.75 MPa、1.25 MPa、2.5 MPa、加熱時間 1 分間である。接合強度は引張試験機を用いて生体試料片両端を引張ることで計測し、それらが剥がれた時の引張荷重を接着面積で除した値と定義した。

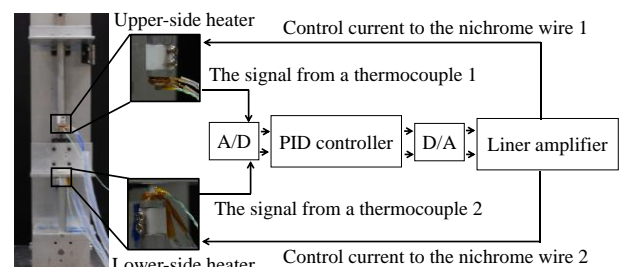


Fig. 1 Adhesion experimental apparatus.

### 3. 結果

#### 3.1 生体組織含水率と接着強度の関係

10 % 食塩水含浸試料と 0.9 % 食塩水含浸試料の含水率および接合強度を図 2 に示す。含水率は、10%食塩水で 0.62

$\pm 0.037$ , 0.9%食塩水で  $0.73 \pm 0.057$  であった. 含水率には有意水準 0.05 で有意差があった. 接合強度は 10%食塩水含浸試料が  $0.068 \pm 0.0058$  MPa, 0.9%食塩水含浸試料  $0.082 \pm 0.0098$  MPa であった. また, 接合強度も有意水準 0.05 で有意差があった.

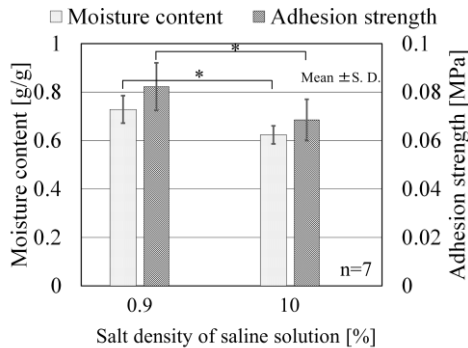
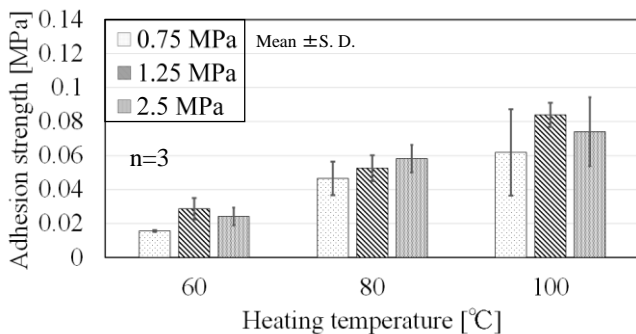


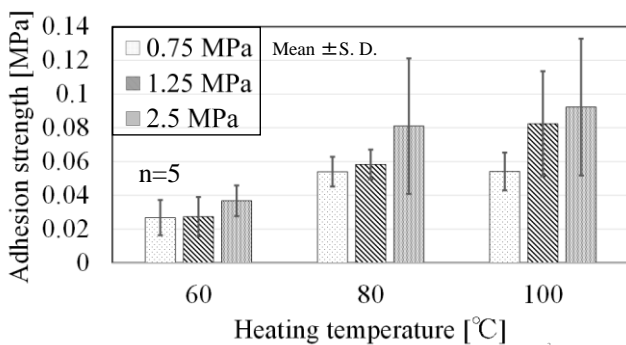
Fig. 2 Moisture contents of the specimen and the adhesion strength (\*  $P < 0.05$ ).

### 3.2 含水率均一化の接着効果への影響

0.9%食塩水により含水率均一化を行った生体試料片同士の接着強度を図3(a)に示す. 各加熱温度に対する平均接着強度の最大値は, 60℃の時に 0.029 MPa, 80℃の時に 0.058 MPa, 100℃の時に 0.083 MPa であった. 各接合条件で得た接着強度の標準偏差を平均した平均標準偏差は 0.010 であった. 含水率調整を行っていない生体試料片同士の接着強度を図3(b)に示す. 各加熱温度に対する平均接着強度の最大値は, 60℃の時に 0.036 MPa, 80℃の時に 0.081 MPa, 100℃の時に 0.092 MPa であった. また, 平均標準偏差は 0.019 であった.



(a) uniformed moisture content specimens



(b) non-treated specimens

Fig. 3 adhesion strength of specimens with uniformed moisture content and non-treated specimens.

## 4. 考察

### 4.1 生体組織含水率と接合強度の関係

接着する生体試料片の含水率によって, 接着強度に有意差が生じたことから, 生体組織含水率が接合強度に影響することが明らかになった. 0.9%食塩水に浸した生体試料片の接着強度が 10%食塩水に浸した生体試料片の接合強度よりも高い理由は, 含水率がコラーゲン線維の変性量に影響しているためと考える. 今後, 含水率とコラーゲン線維の変性量との関連を調査する必要がある.

### 4.2 含水率均一化の接着効果への影響

含水率を均一化することにより, 接着強度標準偏差を小さくすることができた. これは加熱によるコラーゲン線維の変性量が均一になったためと考える. 幅広い接着強度標準偏差は本接合方法特有の性質であったが, 本結果より含水率等の接合試料状態に依るものであることが示唆された.

一方, 含水率均一化試料の接着強度は, 含水率を調節していないものに比べて小さくなったが, 原因は不明である. 今後, 熱, 含水率, コラーゲン線維の変性量の3つの項目間の関連性を明らかにしていく必要がある. 更に, 含水率非調節試料では各加熱温度において加圧力の増加に伴い接着強度の増加傾向が認められたが, 含水率均一化試料では一部でその傾向が認められなかった. 本点も原因は不明である. 加圧は接着部位の接着時脱水と関係があると推定されるため, 今後, 加圧力に対する接着部位からの脱水率計測方法を検討し, 接合強度との関係を調査していく.

## 5. 結言

複合低エネルギー生体組織接合技術における接着する生体組織の含水率と接着強度の関連を調査した. 接着する試料片の含水率によって接合強度に差異が出ることを確認し, 生体組織含水率が接合強度に影響することを明らかにした. 今後は, 熱と含水率, コラーゲン線維の変性との関連性を明らかにし, 複合低エネルギー生体組織接合原理の更なる解明を行う.

## 6. 参考文献

- [1] Amaral JF, The experimental development of an ultrasonically activated scalpel for laparoscopic use, *Surg Laparosc Endosc*, vol. 4, no. 2, pp. 92-99, 1994.
- [2] Werker PM, Kon M, Review of Facilitated Approaches to Vascular Anastomosis Surgery, *Ann Thorac Surg*, vol. 63, pp. 122-127, 1997.
- [3] A Katho, T Masuzawa, K Oseki, A Kishida, T Kimura, and THigami, Development of tissue adhesion method using integrated low-level energies, *Medical Engineering & Physics*, vol.32, no.4 pp.304-311, 2010.
- [4] T Aodai, T Masuzawa, K Ozeki, A Kishida and T Higami, Effect of metal surface characteristics on the adhesion performance of the integrated low-level energies method of adhesion, *Journal of Artificial Organs*, vol. 15, pp.386-394,2012.