

艾灸とその温度特性

Combustion of moxa stick and its temperature property

9630105 石田かおり Kaori ISHIDA

1. 緒言

針灸治療は針刺と艾灸よりなるが、この艾灸は体表の経穴に艾の燃焼による温熱刺激を与え、経絡の作用を通して治病・防病を行なうものとされている。

艾は、艾葉を搗製後、雑質を除いて艾絨のみを精製したものである。艾絨を円柱状に成形したものを艾条、円錐状に成形したものを艾炷といい、臨床ではこれらをその尖端から燃焼させて用いる。このとき体表に与える熱刺激が治療効果を与えるとされている。したがってこの燃焼による発熱特性を把握することは艾灸治療において大きな意義がある。

本研究では、この艾条の燃焼とその温度特性を調べることを目的とし、板上に各種大きさの艾条を設置し、その底面温度の燃焼に伴う変化を測定して、艾の形態や物性値の効果調べ、その関係を検討した。

2. 実験

(1) 艾条の形態とその密度

艾条は高さ $l=4-16$ mm, 底面半径 $r=1-3$ mm, 密度 $\rho=35-100$ mg/cm³ のものを作製して用いた。

(2) 艾条の設置とその燃焼

スライドガラス ($S=7.6 \times 2.6$ cm², $d=1.5$ mm) とカバーガラス ($S=2.2 \times 2.2$ cm², $d=170$ μ m) の間に熱電対 (CA) の尖端部 15mm を挟み、この周囲を接着剤で固定した。水平に静置した木板 ($S=31.8 \times 23.5$ cm², $d=3$ mm) の上中央に厚紙 ($S=18.5 \times 7.5$ cm², $d=5$ mm) を置き、その上中央にガラスで固定した熱電対を医療用テープで固定した。このカバーガラスの中央に艾条を静置した (Fig.1)。

艾条上端を線香で点火し、その後の燃焼部分の下降速度をビデオ撮影ならびにストップウォッチにより測定した。

艾条点火後の熱電対測定温度 T が、室温 T_0 から上昇してピーク温度 T_p に達し、また室温付近に下降するまでを記録した。

各艾条の燃焼前後の質量 m および m_1 を測定し、これより質量変化率 $\eta=(m-m_1)/m$ を求めた。

3. 結果と考察

(1) 艾条の密度と充填率

艾条の密度は $\rho=35-100$ mg/cm³ の範囲を作製して検討したが、一般に市販の艾条密度は平均約 60 mg/cm³ であった。これは艾絨繊維の比重を 1 と仮定すれば充填率が

6%であることを意味している。

もし艾絨繊維 ($d=5$ μ m) がすべて繊維素 cellulose からなるとすれば、艾条 1 cm³ 中の CH₂O は約 2mmol 相当、同じく 1 cm³ 中の O₂ は 10 μ mol なので、艾条中に含まれる酸素は艾絨繊維の燃焼には全く間に合わず、燃焼に必要な酸素は殆どすべて艾条外から供給せねばならないことがわかる。

(2) 艾条の燃焼による質量変化率

艾条の燃焼による質量変化率 η は、底面半径 r , 密度 ρ に関係なくほぼ 0.92 であった。これは類似の品質の艾絨を用いたので、艾絨中の可燃部分の割合が一定であることを示しているのであろう。

(3) 艾条の燃焼速度

艾条の燃焼先端部 z の下降速度 $v=-dz/dt$ は燃焼開始時から終了時まで一定であった。すなわち等速度で下降した。

燃焼速度 v の底面半径 r および艾条密度 ρ , 高さ l による変化をそれぞれ Fig.2, 3, 4 に示す。Fig.2 の結果は、艾条が太くなると、燃焼に必要な酸素の艾条側面からの拡散時間が大きくなるためであると考えられる。Fig.3 の結果は、艾条密度が増えると燃焼に必要な酸素量が大きくなりこれを供給するための時間が長くなるためであると考えられる。

(4) 艾条の燃焼温度特性

典型的な艾条の燃焼温度特性を Fig.5 に示す。曲線は艾条点火後、室温 T_0 から上昇して時間 t_p においてピーク温度 T_p に達し、また室温に徐々に下降する。

(5) 艾条燃焼理論についての検討 (Wang の式)

高さ l , 底面半径 r , 燃焼速度 v の艾条の厚さ Δl の底層の温度変化 $\Delta T=T-T_0$ (T_0 は室温) は以下の微分方程式を満たす。すなわち

$$\frac{d(T-T_0)}{dt} + \frac{1}{\tau}(T-T_0) = \begin{cases} \beta e^{-\alpha(l-vt)} \dots (0 \leq t \leq \frac{l}{v}) \\ 0 \dots \dots \dots (\frac{l}{v} \leq t \leq \infty) \end{cases}$$

$$\tau = \frac{2k_1}{c\rho r} + \frac{k_2}{c\rho \Delta l}$$

$$\beta = \frac{qj}{c}$$

である。ここで、 $t=(l-z)/v$ は燃焼部通過時刻、 c は比熱容量、 k_1 は艾と空気間の熱交換係数、 k_2 は艾とガラス間の熱交換係数、 α は艾の熱放射の吸収係数、 j は単位面積、単位時間、単位質量あたりの艾の平均放射熱、 v は放熱時

間である。その解は、

$$T - T_0 = \begin{cases} \frac{\beta e^{-at}}{\alpha v + \frac{1}{r}} (e^{\alpha t} - e^{-\frac{t}{r}}) \dots (0 \leq t \leq \frac{1}{v}) \\ \frac{\beta (e^{\frac{t}{r}} - e^{-at})}{\alpha v + \frac{1}{r}} e^{-\frac{t}{r}} \dots (\frac{1}{v} \leq t \leq \infty) \end{cases}$$

この両辺を $z=0$ において $t=0$ から ∞ まで積分すると、さきほどの温度特性曲線下面積 A が

$$A = \frac{j\rho}{v \left(\frac{2k_1}{r} + \frac{k_2}{\Delta l} \right)} (1 - e^{-al})$$

と求められる。この両辺を、 ρ , r , l でそれぞれ偏微分するといずれも正となる。実験結果も同じ正の変化を示した。

また、 $A = \int_0^{\infty} (T - T_0) dt$ より

$$k_2 A = \int_0^{\infty} k_2 (T - T_0) dt = \int_0^{\infty} k_2 (T - T_0) dt$$

したがって、 A は1つの治療単位において、体表の腧穴を中心とした単位面積あたりに流れてきた熱的エネルギーに対応するものであり、熱刺激の強弱程度を表現する尺度といえる。

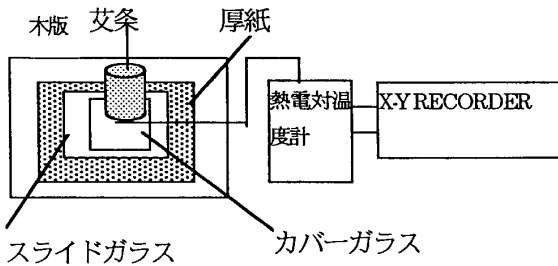


Fig.1 The schematic diagram of the experimental apparatus

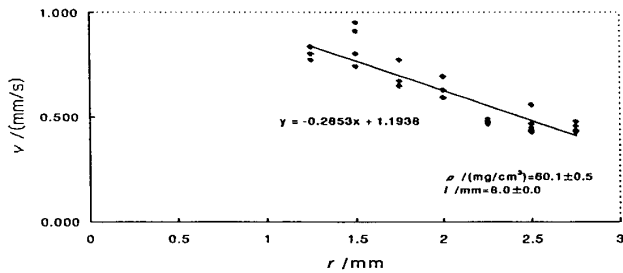


Fig.2 The relation between r and v

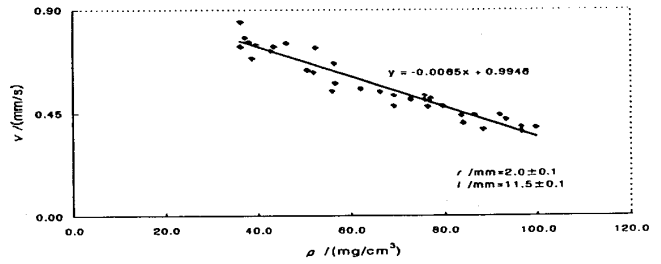


Fig.3 The relation between ρ and v

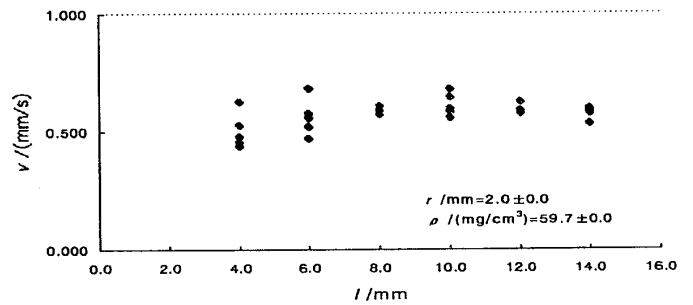


Fig.4 The relation between l and v

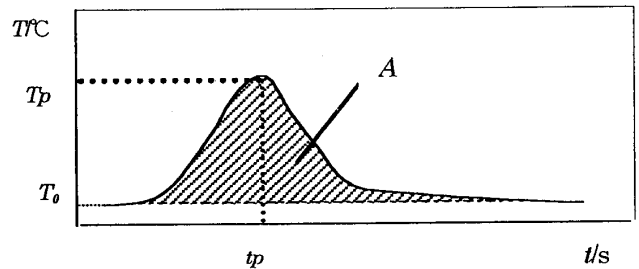


Fig.5 The temperature properties model of moxa stick

謝辞

本研究を御指導賜りました本学大学院王鳳英修士、東京衛生学園会澤重勝博士に感謝致します。特に王鳳英修士には式の解析を行なって頂きました。

参考文献

- 尾崎昭弘「鍼灸臨床手技の実際」医歯薬出版(1993)
- 庄司正弘「伝熱工学」東京大学出版会(1995)
- 會川義寛、岡部哲郎「針灸理論と針灸の作用」内科、81巻、1号(1998)