

## 人工透析の穿刺痛低減のための局所冷却デバイスに関する基礎研究

## Preliminary study on regional cooling device to reduce pain in inserting the hemodialysis needles

○ 苗村潔 (東京工科大)

Kiyoshi NAEMURA, Tokyo University of Technology

**Abstract:** In order to reduce pain in needle insertion for hemodialysis, the author tried to develop a regional cooling patch employing an endothermic reaction of soluble chemicals. The training simulator for needle injection (M50B-A, Kyoto Kagaku Co. Ltd.) was evaluated to mimic temperature response by heat transfer from the blood flow. Warm water of 37 degrees Celsius was circulated at a flow rate of 500 milliliters per minute through a silicone tube to mimic a blood vessel. Temperatures were measured both on the silicone tube and on the surface of the simulator. A prototype of a regional cooling patch was made with  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ . Seven grams of  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  was added to four milliliters of distilled water. The prototype was put both on the training simulator and on a healthy male subject. Transient skin temperatures were compared between the simulator and the subject. A similar response of skin temperature was observed.

**Key Words:** Hemodialysis, Regional cooling, Endothermic reaction

## 1. 諸言

人工透析患者は、脱血と送血のために留置針を穿刺される。針の穿刺痛を低減することは、患者の生活の質を向上させるために必要である。穿刺痛を減らすために、臨床ではボタンホール穿刺やリドカインテープの貼付が行なわれている。ボタンホール穿刺は、同一箇所を繰り返し針で穿刺して血管までのルート形成する方法である。形成されたルートは、次の透析時まで皮膚が再生されておらず、針先が鋭利でない鈍針での穿刺が可能のため、穿刺痛を低減できるが、以前の穿刺ルートに沿って穿刺することが難しく、穿刺に要する時間が延長するなどの問題がある。リドカインテープは局所麻酔薬を浸透させたテープで、効果が出るまでに時間がかかるため、来院前に貼り付けてもらう必要がある。また、薬剤による副作用や患者の貼り忘れが課題となっている。

上記以外の方法として、局所的に冷却して痛覚を鈍らせる方法が試みられ、リドカインテープとの比較も行われている。局所冷却の有効性は示されているものの、冷却の方法が、冷凍庫で冷却されたナイロンに包まれたジェルを穿刺局所に5から10分置き、サーモメーターで穿刺局所が20 [°C]近傍になったのを確認する<sup>(1)</sup>とされ、再現性、安全性、定量性が不十分である。また、ペルチェ素子を用いた局所冷却デバイス(ムツウ戦士)による臨床報告もあるが、冷却中はデバイスを手で持つ必要があり、複数台保有するには高額であることなどの問題がある。そこで本研究では、穿刺前に患者のシャント周辺の皮膚を局所的に冷却することで、穿刺痛を低減するディスプレイデバイスを開発することを目指している。本報では、基礎検討として、吸熱反応を利用した方式の実験結果と血流による復温を模擬したファントムについて述べる。

## 2. 吸熱反応を利用したデバイスの設計法

## 2.1 理論

分子量  $M$  の試薬  $m_d$  [g] の吸熱量を  $Q$  [cal/mol] とし、水  $m_w$  [g] の温度を  $T$  [°C] 降下させたいとき、水の比熱から求まる熱量と試薬の吸熱量が等しいと仮定する。水の比熱が 1 [cal/g·°C] なので、

$$m_w T = \frac{m_d}{M} Q \quad (1)$$

が成り立つと考える。

ペルチェ素子による局所冷却デバイスの冷却部面積 1260 [mm<sup>2</sup>] と、デバイスの底面積を同じとし、水の体積が 4 [mL] となるように厚さ 3.2 [mm] を想定した。つまり、水の質量  $m_w = 4$  [g] と決めた。

水に溶解する際に吸熱反応が起きる試薬の分子量と吸熱量とその比を表 1 に示す。デバイスではできるだけ小型にしたいので、 $m_d$  を少なくするには  $Q/M$  がより大きい試薬を選択する必要がある。よって、硝酸アンモニウム  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  か尿素  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$  が適当である。

Table 1 Comparison among endothermic reaction reagent

	Molecular weight $M$	Endothermic heat $Q$ [cal/mol]	$Q/M$
$\text{NH}_4\text{NO}_3$	80	6080	76
$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$	60	3690	62
KCl	74	4098	55
NaCl	58	924	16

次に、皮膚温を 35 [°C] と考え、デバイスにより 17 [°C] に冷却するためにデバイス内の水温を 18 [°C] 低下させることを考える。以上の条件から式 (1) に当てはめると、硝酸アンモニウム  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  は 0.95 [g]、尿素  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$  では 1.2 [g] と算出された。

## 2.2 評価方法

上記の理論の妥当性を調べるために、ビーカーに水と試薬を入れて温度変化を測定した。その際に、スターラーで攪拌するために 10 倍量、つまり水 40 [mL]、尿素  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$  を 12 [g] で実験した。

## 2.3 結果

尿素有吸熱反応による低下温度は 12.5 [°C] となり、予想した 18 [°C] より小さくなった。

## 2.4 考察

河井ら<sup>(2)</sup>はコンクリートの製作時に尿素有配合して、吸熱反応を利用した。その結果においても、予想される低下温度に対して実際は少ない温度低下となったと報告している。その理由として攪拌による熱損失が挙げられ、今回の

実験においても、スターラーを用いず自然に溶解するように実験することで理論通りの低下温度が得られると考えられる。

### 3. 方法

#### 3.1 血流による復温を模擬したファントム

採血練習用のシミュレータ (M50B-A, 京都科学) は血管をチューブで再現し、血液の模擬液をチューブに循環する構造となっている。ヒトの血液温度 36 [°C] に合わせて水を循環させた。

シミュレータの血管温度と皮膚温度を測定するために、露出させたチューブと表面にサーミスタ式の温度センサを接着した。温度センサの出力を 15 [秒] おきに記録した。恒温槽で 36 [°C] に加温した水をローラーポンプにより、流量 500 [mL/min] で循環させた。循環流量は自己血管内シャントの流量に合わせた。

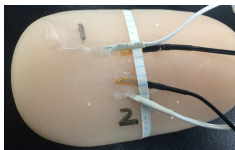


Fig. 1 Thermistor-attached simulator to mimic thermal response

#### 3.2 デバイスの試作

表 1 より、硝酸アンモニウム  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  を用いて、局所冷却デバイスを試作した。血流による復温を想定して、28.5 [°C] の温度低下が予想されるような、硝酸アンモニウム 1.5 [g] を水 4 [mL] に溶解させた。ビニール袋に硝酸アンモニウムと水を入れ、ファントムの上に乗せ、ファントムの上には断熱シートをかぶせた。

### 4. 結果

ファントムの皮膚温度、血管温度の時間変化を図 2 に示す。時刻 0 はデバイス内の水と硝酸アンモニウムを反応させて、ファントムの上に乗せた時刻と一致している。

図に示すように、血管モデルを流れる温水により、デバイスが温められて皮膚温の復温が進む様子が見られた。一方、デバイスによる冷却により、皮膚温は 12.7 [°C] の低下しか得られず、予想に反した結果となった。

また、同じデバイスを健常成人男子の腕の上に乗せて、皮膚温の変化を計測した結果を図 3 に示す。ファントムは被験者と同様な結果を示した。

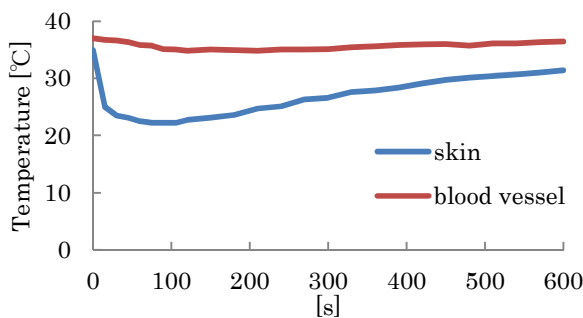


Fig. 2 Transient skin & blood vessel temperature of simulator after applying a regional cooling device consisted of 4 mL water and 1.5 grams  $\text{NH}_4\text{NO}_3$

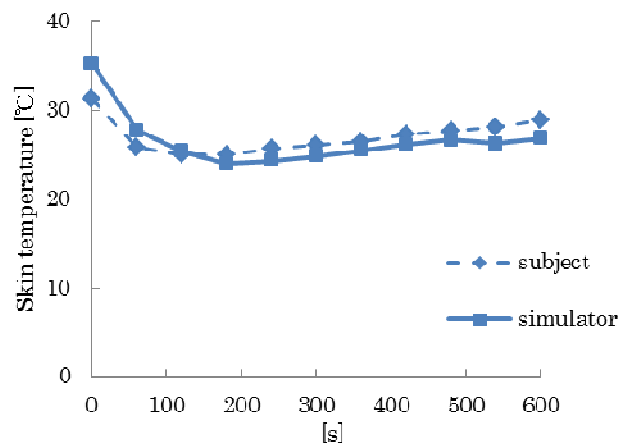


Fig. 3 Comparison of transient skin temperature after applying a regional cooling device between a healthy subject and the simulator

### 5. 考察

皮膚の熱伝導度 0.21 [W/(m·K)], 比熱 0.83 [J/(kg·K)] に対して、シミュレータを構成するシリコンは熱伝導度 0.2 [W/(m·K)], 比熱 1.6 [J/(kg·K)] と近い値を示す。以上の特性から、血流による復温を模擬したファントムとして妥当な結果が得られたと考える。

試薬が水に溶解する際に必要な吸熱量から予想される通りに低下温度が得られなかったのは、試薬と水の混合方法や断熱の不十分さが影響していると考えられる。

### 6. 結語

吸熱反応を利用したディスプレイな局所冷却デバイスを開発するための基礎研究を行なった。その結果、試薬が水に溶解する際に必要な吸熱量から理論的に計算される低下温度よりも、実測値は小さい変化に留まることと、採血用シミュレータの血管モデルチューブに 36 [°C] の温水を循環させることで、血流による復温パターンが健常成人男子と同様になることが示された。

今後の課題は、皮膚温が 20 [°C] 以下にならないような安全設計の確立と、10 分間にわたり皮膚温を 20 [°C] に維持できるような試薬の溶解方法の開発である。

謝辞 本研究の実験には齋藤稜太君、雨宮沙也佳君、池添稜人君、劉聡君、矢島清継君に協力してもらった。

### 参考文献

- (1) 大門正一郎, 瀬戸利子, 保志場紀子, 武市道代, 松山美紀, 澤崎真由美, 上田律子, 中嶋桂子, 段一志, 藤井博, 川野充弘, 局所皮膚冷却による, 血液透析穿刺痛の軽減効果, 透析会誌, vol.43, no.5, pp.429-432, 2010.
- (2) 河井徹, 阪田憲次, 尿素を用いたコンクリートの諸特性, コンクリート工学年次論文集, vol.29, no.1, pp.639-644, 2007.