

ハンドピース型の冷温手術装置の基礎検討 —ハンドピースの改良と冷媒の再検討—

相田 武則[†] 高橋 大志[†] 田口 洋介[†] 塩野谷 明[‡]

[†]北里大学保健衛生専門学院 臨床工学専攻科 〒949-7241 新潟県南魚沼市黒土新田 500

[‡]長岡技術科学大学 体育・保健センター 〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町 1603-1

E-mail: [†] taida@kitasato-u.ac.jp [‡] shionoya@vos.nagaokaut.ac.jp

あらまし

我々は電子冷却素子（ペルチェ素子）を用いてハンドピース型冷温手術用プローブを作製、その性能評価を行っている。以前、我々の研究⁽¹⁾では、ペルチェ素子から発生する熱を吸収するために冷媒の検討を行い一定の知見を得ている。本研究では装置の改良とともに、凍結手術に必要な最低温度（-20℃以下）を実現するべく冷媒の再検討を行った。改良した手術用プローブに性能評価試験を実施した結果、手術用プローブの手術面温度が目標温度まで到達することが可能となった。同時に冷媒によるハンドピースの破損も無く、装置の耐薬性向上を確認することができた。本研究を通じて、改良した冷温手術装置としての機能性を確認することができた。

キーワード 冷温手術、温熱療法、冷媒、ペルチェ素子、耐薬性

A basic study of cryosurgery and hyperthermia treatment with the handpiece cryoprobe

—The improvement of the handpiece and further examination of the refrigerant—

Takenori AIDA[†] Daishi TAKAHASHI[†] Yousuke TAGUCHI[†] Akira SHIONOYA[‡]

[†] Course of Clinical Engineering

Kitasato Junior College of Health and Hygienic Sciences

500 Kurotsuchishinden, Minamiuonuma-shi, Niigata 949-7241, Japan

[‡] Nagaoka University of Technology

Department of Management and Information System

1603-1, Kamitomioka, Nagaoka-shi, Niigata 940-2188, Japan

E-mail: [†] taida@kitasato-u.ac.jp [‡] shionoya@vos.nagaokaut.ac.jp

Abstract we developed the cryoprobe with Peltier device as well as evaluated the refrigerant to draw heat from (or to provide heat removal from) the cryoprobe. In this study, by using the more improved cryoprobe, we sought the refrigerant that can achieve the probe temperature to lower than -20℃. Our performance evaluation tests for the cryoprobe showed that the cooling side of Peltier device achieved at the aim temperature. the handpiece (or handle/hilt) of cryoprobe made from acrylic product was changed to a polycarbonate one to improve the chemical resistance. Through the present study, we could improve the combination treatment system of cryosurgery and hyperthermia.

Keywords Cryosurgery, Hyperthermia Treatment, Refrigeration, Peltier Device, Chemical Resistance of Equipment

1. 序文

冷温手術の歴史は BC2500 以前に頭部の複雑骨折や胸部の炎症に低温治療を施した記録があり、医学上では 1845 年、英国の内科医 James Arnott が論文として初めて発表、1861 年米国の外科医 Cooper が液体窒素を用いて冷温装置を開発したことにより、冷温手術が発展してきた歴史がある⁽²⁾。現在、悪性腫瘍に対する治療法として外科的手術、放射線治療、化学療法といった侵襲性治療法があげられるが、肝臓細胞癌に対して開腹を伴わない液化窒素を用いた低侵襲療法の冷温凍結療法が臨床で施行されている。そもそも生体組織に対する冷温手術は一般的に凍結によって生じる凍結付着、凍結固形化、凍結炎症、凍結壊死の四つを利用して治療に活かされている。人体細胞に対する凍結壊死温度は一般的には -40°C 前後の凍結⁽³⁾でよいとされているが、臨床治療では細胞破壊の目安は、温度ではなく、形状からの判断など医師の経験的な判断に委ねられている。我々はそうした医師の経験的な判断に委ねず、画一的な治療装置を開発するべく、電力による制御が可能なペルチェ素子を用いてハンドピース型(手持ち式)装置を作製した⁽⁴⁾。ペルチェ素子は半導体素子による冷却作用を利用したもので、電流制御によって精密な冷却が可能となる。半導体素子を使用しているため、ペルチェ素子冷却面を手術面とする一方、裏面では放熱が生じているため、その放熱を取り除くことが冷却性能を決める一つの重要な要因となっている。本研究の目的は、ペルチェ素子からの排熱を促す適切な冷媒を検討し、効率的な温度コントロールが可能となる装置を構築することである。この冷温手術装置を臨床応用するための基礎的検討として、ハンドピース型の冷温手術装置を開発し、冷媒変更による手術用プローブへの影響を調べたので報告する。

2. 方法

2-1. 手持ち型凍結加温手術装置の改良

設計概略図を Fig.1 に示す。装置は主にハンドピース部、T型熱電対、ヒートシンクと一体型の銅製固定治具、ペルチェ素子で構成される。従来ハンドピース部をアクリル製としているが、今回は耐薬性をもつポリカーボネート製に変更した(改良点)。そしてハンドピース部にペルチェ素子を固定するため、丸棒銅をカップ状に加工し、ペルチェ素子の発熱面の冷却効率を確保する設計とした。卓上旋盤にて市販のタフピッチ銅(純度 99.9%程度)製の丸棒を外径 $\Phi 19\text{mm}$ に機械切削した後、肉厚を 0.1mm 程度となるようにザグリ加工

を施した。その固定治具内の底面に熱伝導接着剤(1225B、ThreeBond)を用いて、市販のヒートシンク(14 \times 14 \times 10mm)を固定し、市販接着剤を塗布した治具を肉厚 1.5mm のポリカーボネートパイプの圧入によって固定した。こうして作成したハンドピース部に、熱伝導接着剤を用いて外形寸法 15 \times 15 \times 3.6mm、吸熱量 9.5W のペルチェ素子(FPH-3104NC、G-max)を固定することで手持ち式手術装置を作製した。

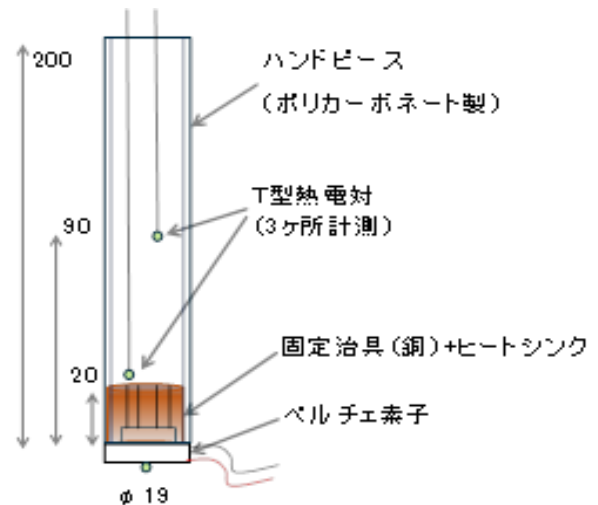


Fig.1 設計概略図

2-2. 無負荷条件における冷温装置の性能試験

試行実験として同装置から水漏れがないか外観的評価を行った後、性能評価実験を行った。まず純水を冷媒として用いた無負荷実験を行い、ペルチェ素子手術面と他 2 ヶ所(ヒートシンク上、ハンドピース底面から 90mm)を T 型熱電対とデータロガーで計測記録した。その後、各冷媒(予冷エタノール、尿素硫安混合物)を変更後、無負荷条件における同手術装置の性能試験を行った (Fig.2)。

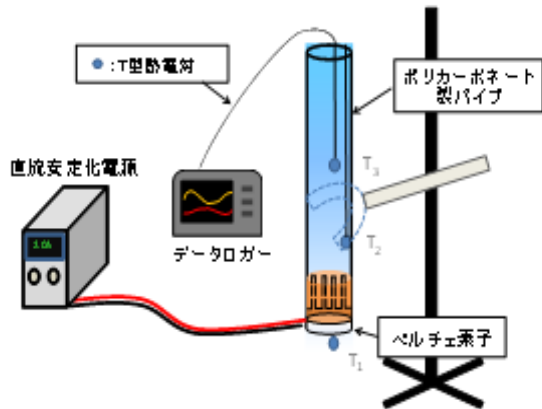


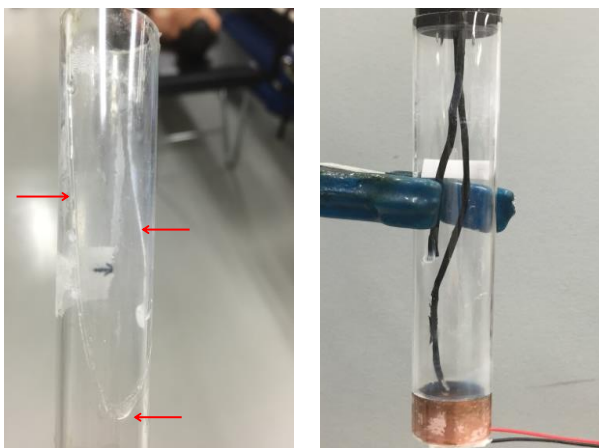
Fig. 2 実験概略図

2-3. 温度繰り返し特性による冷温装置の性能試験

凍結手術は、不十分凍結による悪性腫瘍の憎悪が欠点としてあげられ、臨床治療では組織破壊性を向上させるため冷凍-融解を3回程度繰り返す反復法(サイクル法)が実施されている。そこで、本研究においても温度繰り返し特性を評価するため、各冷媒による凍結手術と温熱療法への影響について調べた。本研究では、ペルチェ素子への電流を、冷凍過程では2.3Aを1分間の供給とし、融解過程では電流を反転させて-0.8Aを30秒間の供給とするサイクルを3回繰り返した。その際、2-2の実験と同様に、計測箇所は3ヶ所(ペルチェ素子の手術面、ヒートシンク上、ハンドピース底面から90mm)とし、T型熱電対とデータロガーを用いて計測記録した。なお、冷媒はエタノール、予冷エタノール、硝安尿素混合物を用いた。

3. 実験結果

3-1. 手持型凍結加温手術装置の改良結果



アクリル製(改良前) ポリカーボネート製(改良後)

(ヒビ有)

(ヒビ無し)

Fig. 3

ハンドピース部の材質をアクリル製からポリカーボネート製にしたことで、実験後、目視にて冷媒によるハンドピース部のヒビ破損は見られない事を確認した。

3-2. 無負荷条件における冷温装置の性能試験結果

純水と他冷媒(予冷エタノール、硝安尿素混合物)について測定した結果を Fig.4 に示す。各冷媒の容量は40mlと統一して実験を行った。予冷エタノールを冷媒とする時、ペルチェ素子の手術温度は、電力供給後からおよそ48秒で最低温度-19.1℃となり、硝安尿素混合物の場合は開始後から34秒で最低温度-23.4℃となり、純水は開始後から56秒で最低温度-3.4℃となった。5分後のペルチェ素子手術面の温度は予冷エタノール(5℃):-7.5℃、硝安尿素混合物:-16℃、純水:+7.2℃であった。

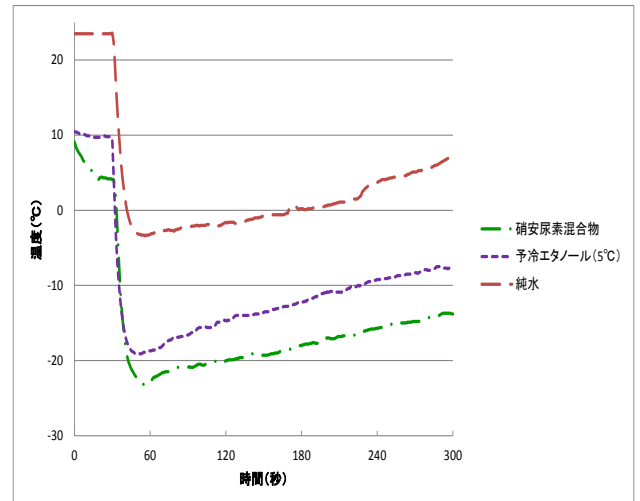


Fig. 4 ペルチェ素子面(手術面)への影響

3-3. 温度繰り返し特性の評価結果

温度繰り返し特性の結果を Fig.4 に示す。使用した冷媒は、エタノール、予冷(5℃)エタノール、硝安尿素混合物をそれぞれ用いて実験を行った。エタノールを用いた場合、1サイクル目開始21秒で最低温度が-14.3℃、電流反転後の最高温度が+49.5℃、2サイクル目最低温度は-11.5℃、最高温度は+53.5℃、3サイクル目最低温度は-9.1℃、最高温度は+57.4℃となった。予冷エタノールを用いた場合、1サイクル目開始22秒で最低温度が-19.4℃、電流反転後の最高温度が+42.7℃、2サイクル目最低温度は-15.4℃、最高温度は+47.3℃、3サイクル目最低温度は-12.7℃、最高温度は+50.9℃となった。同様に、硝安尿素混合物を用いた場合は1サイクル目開始後29秒で最低温度-19.8℃、電流反転後の最高温度+40.8℃、2サイクル目最低温度-17.8℃、最高温度

+40.1℃、3 サイクル目最低温度 -16.2℃、最高温度 +44.2℃となった。

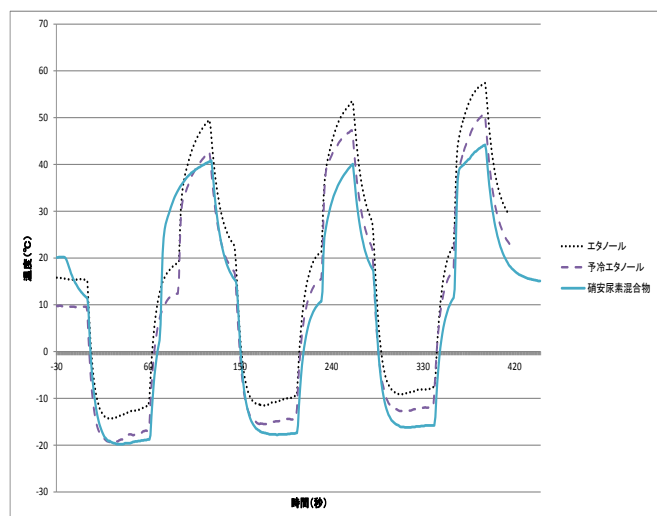


Fig.4 ペルチェ素子面（手術面）の温度推移

4. 考察

4-1. 手持型凍結加温手術装置の改良評価

ハンドピース部をアクリル製から耐薬性のあるポリカーボネート製に変更することで実験後、ハンドピースにヒビ破損がないことを確認できた。ヒビ破損の原因はアクリル製ハンドピース部に冷媒として用いるエタノールが浸食作用を起こしたため、ヒビ破損につながったと考えられる。今回の実験では、材質の変更によりハンドピース部の耐薬性向上が確認できた。

4-2. 無負荷条件における冷温装置の性能試験評価

各冷媒において無負荷条件で施行した。電流値 2.5A にて実験を行った結果、尿素硝安混合物<予冷エタノール<純水の順に最低温度が低い結果となった。硝安尿素混合物にて開始 34 秒で最低温度 (-23.4℃) に達した。この時点で凍結手術に必要な最低温度 (-20℃以下) を達成する事ができた。この実験結果から、物質の吸熱反応を利用することによりペルチェ素子面（手術面）温度に影響を与えることがわかった。

4-3. 温度繰返し特性の評価

Fig.4 より、1 回目の凍結最低温度はエタノール:-14.3℃、予冷エタノール:-19.4℃、硝安尿素混合物:-19.8℃となった。一方、加温過程については、1 回目最高到達温度はエタノール>予冷エタノール>硝安尿素混合物の順に高い結果となった。融解速度はエタノール:+31.8℃/min、予冷エタノール:+54.8℃/min、硝安尿素混合物:+10.6℃/min、となり、毎分 1~10℃が最も細胞破壊に効果的である⁽⁴⁾とされている為、その範疇以上の結果となった。以上より、本実験を総じて、尿素硝安混合物は冷温手術冷媒としては有効であるこ

と、予冷エタノールもそれにほぼ準じる結果となった。

5. 結論

本研究では、手持ち式手術装置の改良を行い、冷媒実験の上、各冷媒によるペルチェ素子手術面温度への影響を研究した。結論を以下にまとめる。

- (1) ハンドピース部の耐薬性向上が確認できた。
- (2) 冷温手術装置に適する冷媒量を算出し、凍結手術装置に必要な温度-20℃以下を達成した。
- (3) 温度繰返し特性において尿素硝安混合物と予冷エタノールは冷媒として有効である。

6. 謝辞

本研究にあたり、ご協力いただいた北里大学保健衛生専門学院臨床工学専攻科の皆様へ感謝致します。

文 献

- [1] Takenori AIDA, Daishi TAKAHASHI and Yousuke TAGUCHI, „A Basic Study of Cryosurgery and Hyperthermia Treatment with the hand piece cryoprobe-The examination of herefrigerant-, KITASATODAIGAKUHOKEN-EISEI-SENMONGA KUIN KIYO, vol.19, pp17-24, March, 2015
- [2] 和久井 章人、児玉直樹、日吉功、福本一郎、ペルチェ素子を用いた新しい冷凍手術装置の基礎研究、長岡技術科学大学、vol.23, pp.39-43, 2001
- [3] 河田茂樹、松本義伸、福本一郎、ペルチェ効果を利用した凍結手術装置の基礎研究、長岡技術科学大学、vol.21, pp.125-130, 1999
- [4] Daishi TAKAHASHI, Yousuke TAGUCHI and Takeya TOYAMA, A Basic Study of Handheld Combination Treatment System with Cryosurgery and Hyperthermia Treatment using Peliter Device for Destroying Skin Tumor, KITASATO DAIGAKU HOKEN-EISEI-SENMONGAKUINKIYO, vol.18, pp39-45, March, 2013