

脳低温療法のための脳温自動制御装置の開発

○ 檜木智彦, 若槻琢也, 若松秀俊

東京医科歯科大学大学院保健衛生学研究科

Development of automatic brain temperature control apparatus for brain hypothermia treatment

Tomohiko UTSUKI, Takuya WAKATSUKI, Hidetoshi WAKAMATSU

Graduate School of Health Sciences, Tokyo Medical and Dental University

1. はじめに

頭部外傷, 脳卒中, 新生児仮死, 脳炎などで生ずる重症脳損傷の集中治療法として, 脳低温療法が注目されている^{1,2)}. この治療法により, 従来救命さえ不可能とされた重症脳損傷患者が後遺症なく回復した症例も数多く報告されている^{1,2)}.

現在の脳低温療法では, 冷却水が循環する樹脂製ブランケットによって全身とともに脳を冷却する表面冷却法が主流である. このとき, 脳温管理のための冷却水温の決定と調節が手動的に行われており^{1,2)}, 医療従事者の経験に基づいた高度な技術と多大な労働力を要する. そのため, 脳温制御が自動化できれば, より正確な脳温制御の実現に加え, 医療従事者の負担と医療コストの軽減と脳低温療法の普及を促すと考えられる.

これまでに本研究からは, 好ましい脳温の時間スケジュールを制御アルゴリズムに与えると, 環境変化と温熱特性変化があっても, 自動的に適切な冷却水温を算出し, その算出冷却水温の実現から脳温を正確に自動制御するシステムの構築を構築した^{3,4)}. そのうち本稿では, 自動制御装置の開発について述べる.

2. 装置の構成

本研究で開発する自動制御装置の構成を Fig.1 に示す. この装置では, ポンプ 1 (三相電機, PMD 521A6DK) が, 6 l/min 以上の流量で冷却水をブランケットに送水する. そして, ポンプ 2 (柴田科学, C-761 付属) とポンプ 3 (三相電機, PMD521A6DK) により, あらかじめ一定温度に調整した温水や冷水を冷却水に混合して, その水温を算出冷却水温に制御する. そのとき, 流量制御システム (Buerkert, Ty8071, Ty8623-2, Ty6022) は PC から流量設定信号に従って混合流量を制御する. また, 冷水混合時には電磁バルブ 1 (CKD, FWB51-8-7-02C) が, 温水混合時には電磁バルブ 2 (CKD, FWB51-8-7-02C) が開き, ポンプ 4 (三相電機, PMD0411 B6B) とポンプ 5 (三相電機, PMD0411 B6B) が冷水製造装置 (柴田科学, C-761) と温水製造装置 (トーマス科学, T-104B) に混合された分だけ冷却水を戻す.

3. 装置の加熱・冷却能力

脳温自動制御で必要とされる加熱・冷却能力は, ①患者の代謝熱の排出能力, ②平衡状態を維持しながら脳温を目標脳温に追従させる能力, ③環境変化や温熱特性変化によって平衡状態から逸脱したときに脳温を目標脳温に追従させる能力, に分けられる⁴⁾. ここで①と②の能力の合計は, 全身を一つのコンパートメントとしたモデルから, 例えば体重 70kg, 比熱 3300J/kg/K, 代謝率 2000kcal/日の患者の脳を 2°C/時の割合で変化させる場合で 200~250W と概算で

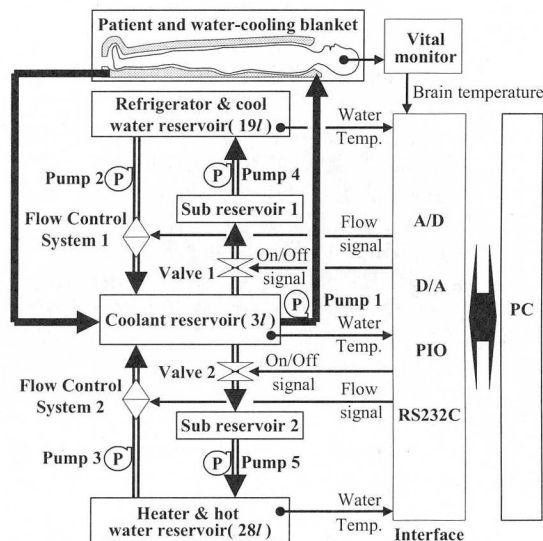


Fig.1 Brain temperature control apparatus

きる⁴⁾. この値は, 体温変化に伴う生体反応の防止上, 臨床ではこれ以上の脳温変化を避けるので^{1,2)}, 一般的な成人患者での上限値と考えられる.

一方, 冷却水温変化を入力, 脳温変化を出力とする成人の温熱特性は, ゲインが約 0.9, 時定数が約 3 時間の 1 次遅れで表現できる³⁾. この時定数に対して脳温制御を正確に行うためには, ③において少なくとも数 kW 以上の能力が必要である⁴⁾.

今までの脳温自動制御装置は, 加熱能力が 300W で冷却コンプレッサー定格電力が 250W であった⁴⁾. また, 現在臨床で使用されている体温管理装置 (CSZ, Blanketrol II) の加熱能力は 800W である. これらと比べて本装置は, 1990W の冷水製造能力 (冷水温 5°C 時) と 2000W の温水製造能力を備えており, 環境変化と温熱特性変化があっても, 脳温制御をこれまでより正確に実現すると考えられる.

4. 文献

- 1) 浅井康文編: 特集—脳低温療法の現状と今後の展開—ICU と CCU 27: 723-770, 2003
- 2) 林成之: 脳低温療法—重症脳障害患者の新しい集中治療法, 医学書院, 東京, 1995, 1-105
- 3) 若松秀俊, 陸高華: 脳低温療法の臨床に則した脳温適応制御システム. 脳死・脳蘇生 15(1): 25-33, 2003
- 4) 若松秀俊, 檜木智彦: 脳低温療法のための自動制御システムとその性能. 日本臨床生理学学会雑誌 34(4): 229-238, 2004