

# 選択式脳低温療法のための 適応ゲインと積分制御の模型実験

本間 達, 舟木 大登\*, 若松 秀俊, 伊藤 南 (東京医科歯科大学)

Model Experiment by the Control of Adaptive Gain and Integral Action for Selective Brain Hypothermia  
Satoru Honma, Daito Funaki, Hidetoshi Wakamatsu, Minami Ito (Tokyo Medical and Dental University)

## 1. はじめに

選択式脳低温療法で脳温を自動管理するために Fuzzy 制御の有効性が示唆されている<sup>(1)</sup>。しかしながら代謝が大きく変動する導入期には、Fuzzy 制御のみで十分な温度管理が実現できない可能性があるため、適応ゲインと積分制御を組み合わせたアルゴリズムによる温度管理の数理シミュレーションがおこなわれている。本研究では、人体頭部の特性を反映し、選択式脳低温療法を模擬した模型実験を用いて有効性を検証する。

## 2. 方法

人体頭部の熱特性を反映した模型を用いて、脳温を自動制御する新しいアルゴリズムの検証実験を行う。具体的には、適応ゲインと積分制御を組み合わせたアルゴリズム<sup>(2)</sup>を検討する。

実験装置は以下のように構成されている。頭部への血流を表現するために、恒温槽から 37°C 前後の模擬血液(水)を頭部模型に電動ポンプで循環する。さらに脳温を制御するために、リング槽から脳模型に接続する動脈に模擬リング液(水)を導入する。この模擬リング液は温度調整槽で上述のアルゴリズムによって温度を調節される。温度調整槽は、温水槽と冷水槽の水を混合して指定した温度に設定する。本システムでは制御対象が脳模型の温度であり、操作量は模擬リング液の温度である。

ところで直前の実験終了時のリング槽の温度を引き継いで計算することを本研究では継承と定義する。継承しない場合、リング槽温度設定値を 0 として計算を開始する。

## 3. 結果

制御目標脳温を 35°C とし、適応制御則を用いた場合の継承あり(Memorized)/なし(non-Memorized)の比較結果を図 1 に示す。臨床では目標値 $\pm 0.1^\circ\text{C}$ が望ましいが、本研究では模擬実験であることを念頭に置き、観測誤差などを考慮して目標値 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ を整定と考えている。継承ありの場合は、開始から 3 時間が経過した時点で目標値からの誤差が大きくなり、整定とみなせない状態になった。この結果から、適応制御則は「継承なし」で行う方が「継承あり」よりも振幅が小さく、安定して機能することが示唆されている。

## 4. 考察

適応制御は、継承ありの場合に振幅が大きくなることを確認した。一方、本間らは<sup>(1)</sup>、Fuzzy 制御則で継承の効果があることを示してきた。本研究において、検証のために行った Fuzzy 制御則を用いた実験は継承ありの方が、長時間かつ目標温度を $\pm 0.5^\circ\text{C}$ 以内に収められることを確認した。図 1 において継承ありが 35.5°C を越えた原因は、リング槽の水温を調整するために十分な温度調節能力を持たなかったことによると考えられる。したがって、継承なしで一定の効果を発揮する適応制御は、脳低温療法の導入期に良好な温度管理を実現する可能性が示唆されたと考えられる。

以上のことから、代謝や脳温が不安定なときには適応制御を、安定しているときには Fuzzy 制御則を用いるように制御則を適宜切り替えることで、より効果的な脳温管理の実現が示唆された。この制御則の切り替えは、適宜なタイミングで行わなければ、返って温度管理が不安定になる。このため、切り替えのタイミングについて患者の脳 CT などを考慮した上で検討していく必要がある。

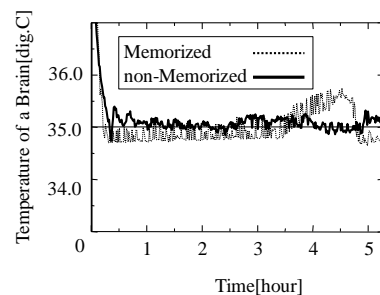


図 1 適応制御則における継承あり/なしの比較

Fig.1 Comparison of two adaptive control systems using memorized and non-memorized gains

## 文 献

- (1)本間, 若松:「選択式脳低温療法における精密な脳温管理のための制御システム」, 電学論 C, 136(4),525-531(2016)
- (2)本間, 若松:「適応ゲインと積分制御による選択的脳低温制御」,平成 29 年度, 電気学会大会講演論文集, 発表予定(2016)