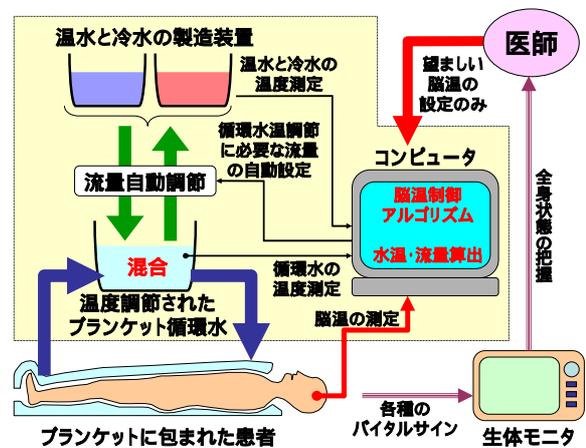


脳低温療法のための水冷式脳温自動制御 水温の判断・操作が不要なシステムの開発

<システムの概要>

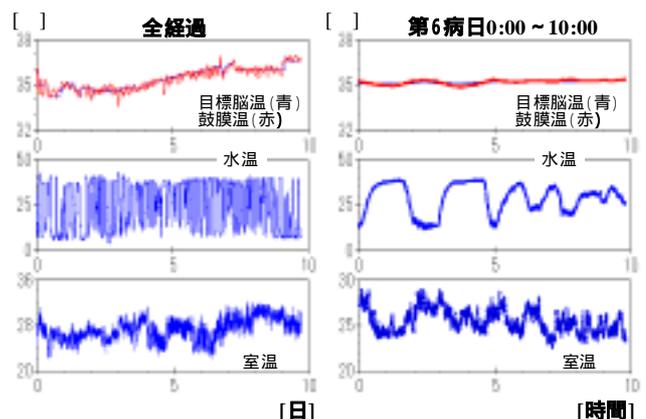
当研究室では、脳低温療法の簡便化と普及促進のために、表面冷却による脳温・体温管理を自動化した水冷式脳温自動制御システムの開発を進めている。左下に、現在企業と共同開発中の写真を示す。このシステムは、右下図に示すように、医師が臨床上に望ましい脳温を設定すると適切に温度調節された水が患者を包むブランケットに流れるものである。このとき、コンピュータ内の制御アルゴリズムが患者の個体差や特性変化を陰に考慮して動作するので、脳温は精確に自動制御される。したがって、本システムの実現から、きめ細かい脳低温療法の普及と医療従事者の労力軽減が期待できる。



<臨床応用試験>

本学医学部附属病院ICUにおいて、水冷式脳温自動制御の臨床応用試験を脳外科と集中治療部と共同で行った。対象患者は、静脈性脳梗塞が2名、動脈性脳虚血が1名であり、脳温制御と転帰について良好な結果を得ることができた。代表して、左下写真に第1例目(65歳女性, 出血性静脈性脳梗塞)の風景, 右下に制御結果を示す。

用いた装置は、企業との共同開発に至る前に当研究室で試作したものである。全経過を通じた制御誤差は概ね ± 0.15 以内であり、臨床的な不具合は特になかった。治療開始時には生命すら危ぶまれていたが、脳低温療法の終了3ヵ月後には、右片麻痺は残存したものの、家族との会話や左半身の運動が可能になるなどの回復をみる事ができた。

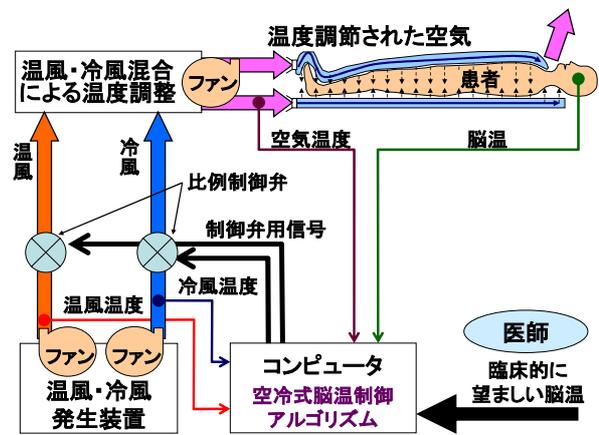
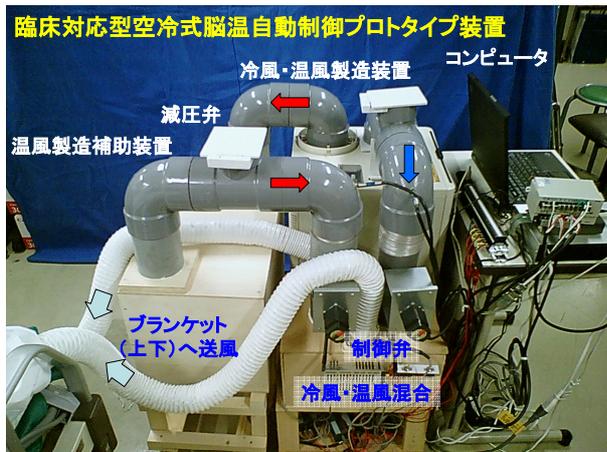


脳低温療法のための空冷式脳温自動制御

— 患者の負担が小さく、臨床導入が容易なシステムの開発 —

<システムの概要>

当研究室では、脳低温療法の簡便化のために、これまでの水冷式だけでなく空冷式脳温自動制御システムの開発も進めている。左下写真に、現在試験中のプロトタイプ装置を示す。このシステムは、右下図に示すように、医師が臨床的に望ましい脳温を設定すると適切に温度調節された空気が患者周囲に流れて脳温を自動制御するものである。これにより、きめ細かい脳低温療法の実現と医療従事者の労力軽減が期待できる。



<空冷式の水冷式と比較した利点>

水冷式で用いるブランケットは重く、硬いので、圧迫による心肺への負担が否めない。また、ブランケットが体表と接する面積が小さくて体表が局所的に過冷却されやすいので、褥瘡を生じやすいという問題もある。これに対して空冷式ではブランケットが軽くて柔らかく、風が体表にあたる面積も大きいので圧迫による負担は小さく、褥瘡を生じる可能性も小さいと考えられる。

さらに水冷式ではブランケットの水温調節に大きな電力を必要とするが、空冷式では空気の比熱が水の約 1/4 なので消費電力の大幅な抑制が期待できる。このことは、消費可能な電力が 1500W までに制限されている臨床現場へシステムを導入する際に大きな利点となる。

この他、水冷式では万が一ブランケットなどが損傷すると水が漏れて患者と病室が汚染されるが、空冷式ではたとえ空気が漏れても患者と病室は汚染されない。また、ブランケットに送出した空気を装置に回収する必要もないので、装置を単純化することもできる。ただし、空気は水よりも熱拡散係数が小さいので、空冷式システムで脳温自動制御を実現するには患者周囲に流す風の速さをそよ風以上にすることが必要である。

このように空冷式システムは水冷式システムよりも患者の負担と臨床導入の容易さの点で優れているので、今後の脳低温療法の普及に大きな役割を果たすことが期待できる。

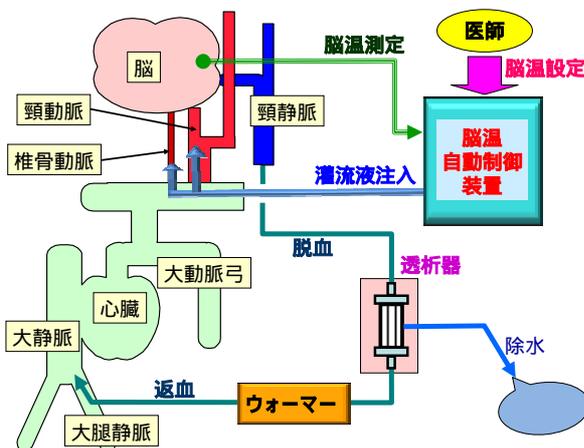
	水冷式	空冷式
ブランケット	重い 硬い	軽い 柔らかい
体表との熱交換面積	小さい	大きい
消費電力	大きい	小さい
水や空気の漏れ	患者と病室の汚染	患者と病室の汚染なし
装置の機構	複雑	単純

脳を選択的に冷却する血液希釈式脳温自動制御 副作用が少なく、高精度な制御を実現するシステム開発

<システムの概要>

当研究室では、脳低温療法を簡便化するために患者を体表から冷却する表面冷却式脳温自動制御システムを開発してきた。しかし、この他にも左下図に示すように頸部の動静脈にカテーテルを挿入し、温度調整した灌流液を注入して脳を選択的に冷却する血液希釈式脳温自動制御システムの開発にも取り組んでいる。右下写真はその基礎開発した装置であり、左下図の「脳温自動制御装置」がそれに該当する。この装置により、医師は目標温度の設定だけで後述する副作用の少ない脳温管理を速やかに行えるようになる。ただし、この方式では血液を希釈する分だけ透析による除水が必要なので、本開発では単なる制御装置の開発だけでなく、水や電解質の平衡も考慮した総合的システムの完成を最終的な目標としている。

なお、本システムは脳外科手術でも脳保護効果を期待した脳温管理を可能にする。またその際、血液希釈によって出血量も少なくなるので、より脳組織に優しい手術の実現も期待できる。



<他の冷却方式との比較>

血液希釈式では、表面冷却と異なり、頸部動静脈へのカテーテル挿入という熟練の手技とその後の厳密なカテーテル管理が必要となる。しかし、選択的に脳を冷却するので表面冷却で問題となる、不整脈、心不全、感染といった副作用が原理的に生じにくく、末梢血管抵抗や血液粘性を高めることもないので心肺系への負担も小さいと考えられている。また、脳血流の温度を直接的に操作できるので表面冷却では時間単位だった脳温制御を分単位で、しかも高精度に実現でき、消費するエネルギーも大幅に抑制できると期待されている。

人工心肺装置を用いる血液冷却式は、本システムと同様に分単位の制御が可能であるが、現行では全身を冷却する方式が主流なので、副作用の問題は依然として大いに潜在している。また血管内に冷却カテーテルを留置する血管内冷却式は、制御装置がコンパクトで扱いやすいという利点はあるものの、カテーテル挿入という熟練の手技が必要なことに加え、血液粘性が高まって深部静脈に血栓を生じやすいという課題を抱えている。本システムでは透析による除水が必須条件であるが、将来、体液量と電解質平衡も同時に自動制御する総合的なシステムまで開発が進めば、この課題は解決する。なお、血液希釈によって脳組織が低酸素になることから派生する問題は、今まで行われてきた動物実験では特に見当たらない。

以上の比較から、血液希釈式選脳温自動制御システムは今後有望なシステムといえる。