

質疑応答

(質問) 一時、循環管理におけるコンピュータ管理が
言われた時期がありました、
その後どうなのでしょう

(石川県 : A. S.)

(回答) 内 田 整*

循環管理にコンピュータを使用する試みは、1960年代後半にアラバマ大学で開発されたシステムが最初であろう¹⁾。当時はマイクロプロセッサが登場する以前の時代であったが、心臓手術後の患者管理をコンピュータ化するために、ミニコンピュータを使用した大がかりなシステムが開発された。このシステムには、血管拡張薬をコンピュータ制御で投与して血圧を自動調節する機能が実装され、約400名の患者に使用された。また、コンピュータを使用して循環動態や血液ガス分析の結果などを収集・記録・保存する機能が組み込まれ、現在の自動記録システムの先駆とも言える先進的なシステムであった。

ミニコンピュータの時代からマイクロコンピュータ(マイコン)の時代になると、コンピュータの専門家でなくてもプログラミングや応用システムの構築ができる環境が提供された。8ビットマイクロプロセッサを使用したマイコン製品が市場に登場した1970年代後半から1990年代にかけては、コンピュータを使用した循環管理の研究が最も盛んに行われた時期であった。

コンピュータによる循環管理のターゲットは、血圧コントロールを目的とした血管作動薬のクロードループ投与システムが中心であった。対象となったのは主として心臓手術周術期患者で、観血的動脈圧を入力信号として、コンピュータでポンプの注入量を計算し、ニトロプルシッドやニトロ

グリセリンなどの血管拡張薬を投与する研究が行われた^{2~5)}。発表された論文では、医師や看護師による手動の血圧管理と比較して同等あるいはそれ以上の良好なコントロールが可能であったと報告されている^{4,5)}。周術期の血圧コントロール以外には、低血圧麻酔の自動化^{6~8)}や揮発性麻酔薬を使用した血圧の自動制御システム⁹⁾も研究された。

技術面では、主に工学系研究者により制御アルゴリズムに関する検討が行われてきた¹⁰⁾。初期の血圧コントロールシステムでは、代表的な制御方法であるPIあるいはPID制御が使用されていた。PI制御とは、制御の目標値と現在値の偏差に比例(proportional)する成分と、偏差の蓄積、すなわち積分値(integral)から操作量(血圧コントロールの場合は薬液ポンプの回転数)を決定する制御方法である。また、PID制御とは、PI制御に偏差の変化分(derivative^註)をパラメータに加えて操作量を決定する方法である。しかし、制御対象が生体の場合、制御結果(薬物に対する反応)に個体差があることや薬物の投与量と血圧の変化の関係が線形でないことなどから、制御パラメータを固定したPIあるいはPID制御では限界があることもわかってきた。そのため、制御対象(患者)に応じて最適な制御パラメータを推測する最適(optimal)制御や適応(adaptive)制御など、PID制御に代わる新しい制御方法が血圧コントロールにも応用され、主流となっている。その他、臨床から得られた法則により制御を行う規則に基づく(rule-based)制御、ファジー理論を応用したファジー制御、あるいはニューラルネットなどの人工知能的手法も循環動態の

*国立循環器病センター麻酔科

註 differentialと記している文献や書籍もある

制御方法として検討が行われた。

このように、一時期は多くの研究者が興味を持ったコンピュータによる循環管理であるが、最近の状況を見る限り、学会発表や論文は減少傾向にある。国内に限れば、ここ数年の麻酔科関連学会において循環の自動制御に関する報告は見あたらない。このような変化の理由として、臨床面や技術面で新しさが少なくなってきたこと、TCI(Target Controlled Infusion)など他のコンピュータ応用分野へ研究者の興味が移ったことなど、幾つかの原因が考えられるが、商品化への展望が不透明であることも一因かも知れない。1990年代には、心臓手術後の血圧の自動制御を目的に、ニトロプルシッドをコンピュータ制御で投与するポンプ(Titrator)がIVAC社より開発され、米国において発売が開始された。Titratorは性能的に満足できる結果を示したが¹¹⁾、短期間で市場から姿を消すことになった。医療を取り巻く厳しい環境に影響されたとはいえ、血圧管理システムとして実用性があるにも関わらず市場に受け入れられなかったことは残念な事実である。

コンピュータによる循環動態の自動制御は、医学系、工学系双方にとって興味深いテーマである。また、コンピュータによる循環管理が臨牀的に有用であり、医療従事者の負担軽減にも貢献することは過去の多くの論文が証明している。現在、この分野の研究状況は決して活発であるとは言えないが、システムの安全面などが再評価されれば¹²⁾、今後研究が再び活性化する可能性もあるだろう。

文 献

1) Sheppard LC, Kouchoukos NT: Automation of measurements and interventions in the systematic care of postoperative cardiac surgical patients. *Med Instrum*

1977; 5: 296-301

2) 宮野英範, 松尾功一: クローズドループの試み: 血管作動薬のコンピューター制御. *ICUとCCU* 1983; 7: 91-9.

3) 豊岡秀訓, 西山博実, 堤 晴彦ら: クローズドループによるICU患者の自動治療—いくつかの試み—. *ICUとCCU* 1983; 7: 101-9.

4) Colvin JR, Kenny GN: Automatic control of arterial pressure after cardiac surgery. Evaluation of a micro-computer-based control system using glyceryl trinitrate and sodium nitroprusside. *Anaesthesia* 1989; 44: 37-41.

5) Meijers RH, Schmartz D, Cantraine FR, et al: Clinical evaluation of an automatic blood pressure controller during cardiac surgery. *J Clin Monit* 1997; 13: 261-8.

6) Westenskow DR, Meline L, Pace NL: Controlled hypotension with sodium nitroprusside: anesthesiologist versus computer. *J Clin Monit* 1987; 3: 80-6.

7) Chaudhri S, Colvin JR, Todd JG, et al: Evaluation of closed loop control of arterial pressure during hypotensive anaesthesia for local resection of intraocular melanoma. *Br J Anaesth* 1992; 69: 607-10.

8) Furutani E, Araki M, Sakamoto T, et al: Blood pressure control during surgical operations. *IEEE Trans Biomed Eng* 1995; 42: 999-1006.

9) Monk CR, Millard RK, Hutton P, et al: Automatic arterial pressure regulation using isoflurane: comparison with manual control. *Br J Anaesth* 1989; 63: 22-30.

10) Isaka S, Sebald AV: Control strategies for arterial blood pressure regulation. *IEEE Trans Biomed Eng* 1993; 40: 353-63.

11) Chitwood WR Jr, Cosgrove DM III, Lust RM: Multi-center trial of automated nitroprusside infusion of postoperative hypertension. Titrator Multicenter Study Group. *Ann Thorac Surg* 1992; 54: 517-22.

12) Wallroth C, Virag R, Goldman J, et al: Evaluating the safety and effectiveness of closed loop controllers. STA 2004 Annual Meeting, <http://www.anestech.org/Publications-Abstracts.php>