

人工心肺の貯血レベルの安定化装置 (Open Circuit Level Controller) の開発と実用化

*1自治医科大学さいたま医療センター臨床工学部, *2株式会社ビックワイズ,

*3近畿大学, *4東京女子医科大学

百瀬 直樹*1, 柳澤 充延*2, 徳嶺 朝子*3, 富澤 康子*4

Naoki MOMOSE, Mitsunobu YANAGISAWA, Asako TOKUMINE, Yasuko TOMIZAWA



1. 目的

我々は開放回路において貯血槽の貯血量 (貯血レベル) を安定化させる方法を考案し, Open Circuit Level Controller (OLC) の基礎実験モデル¹⁾, ローラーポンプの実用モデル (OLC-RP [roller pump])²⁾, 遠心ポンプの実用モデル (OLC-CP [centrifugal pump])³⁾, 吸引補助脱血対応モデル (OLC-VAVD [vacuum-assisted venous drainage])⁴⁾ を作製し, 報告してきた。また, その動作を体外循環シミュレーター (ECCSIM) で評価した⁵⁾。

今回, OLCの開発経緯と一連の研究結果, そして今後の研究の方向性を報告する。

2. 方法

1) OLCの原理と設計

OLCは, 貯血レベルによって送血ポンプの回転を制御するように設計した。OLCには図1aに示すように貯血槽の上部から底まで伸びているチューブのポート (direct port) から貯血レベルの静水圧 (P) を入力する。そして, ポンプの回転の制御を開始する静水圧のレベル (H) と, ポンプを停止させるレベル (L) を設定する。PがHより高い状態では送血ポンプは制御せず, ポンプの回転 (R') はポンプの回転数調整つまみの設定 (R) と同じとなる。貯血レベルが何らかの理由で低下してHより低くなると, H-Lの間で送血ポンプの回転を下げるように制御する。H-L間のR'とPの関係は図1bとなるように設計した。また, 制御されていることを操作者に知らせるため, 制御の程度に応じてアラ-

ム音を発生するようにした。

さらにOLC-RPではローラーポンプを, OLC-CPでは遠心ポンプを制御させた。OLC-VAVDはdirect port圧と貯血槽の内圧をOLCに入力し, 双方の差分をPとした。

OLCの操作画面にはカラーのタッチパネルを使用し, R, R', P, H, Lの値を数字およびバーグラフで表示するように設計した。さらに, タッチパネルの [up] [down] 部に触れるだけでHとLを変更できるように設計した。

2) OLCの評価法

Mock回路を作製し, 超音波血流量計にて脱血流量と送血流量を測定した。そして貯血レベルをメジャーあるいは貯血槽の底に圧力計を取り付け, 静水圧で測定した。この実験系で, 貯血レベルと送血流量の関係, 脱血流量を急激に変化させた時の送血流量を記録した。また, HあるいはLを変化させた時の貯血レベルと送血流量も記録した。さらに, OLC-VAVDでは貯血槽にかけるVAVD圧を変化させた時の貯血レベルや送血流量の変化も測定した。

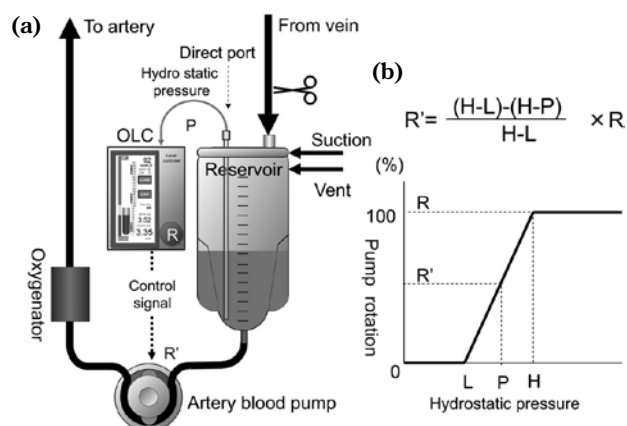


図1 OLCの設計 (a) と制御法 (b)
(文献2より一部改変)

■ 著者連絡先

自治医科大学さいたま医療センター臨床工学部
(〒330-8503 埼玉県さいたま市大宮区天沼町1-847)
E-mail. naokimomose@jichi.ac.jp

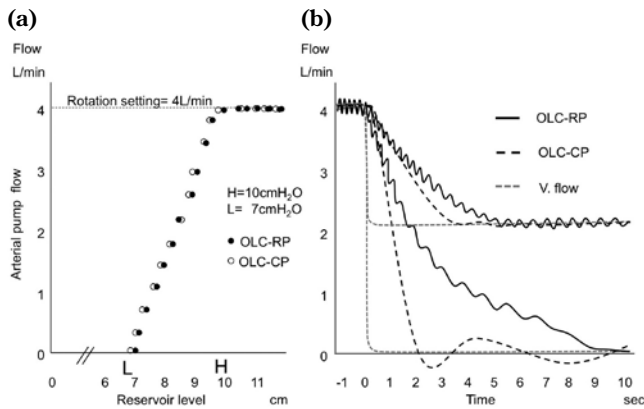


図2 実験結果

- (a) 貯血レベルの変化に対する送血流量変化 (文献2より一部改変)
 (b) 脱血不良時の送血流量の反応 (文献3より一部改変)

3. 結果

測定結果を図2に示す。脱血流量を減少させ貯血レベルがHより下がると送血ポンプの回転が制御されて送血流量が低下し、脱血流量と等しくなった。この時、貯血レベルはHとLの間で安定した。HとLを変化させると送血流量が一時的に変化し、HとLの間で貯血レベルが再び安定した。これは設計通りの結果であった。OLC-CPでも同じ貯血レベルの安定が得られ、脱血を完全に止めると、送血流量はゼロになるが遠心ポンプは停止せず、送血回路からの逆流を防げることが確認できた。OLC-VAVDはVAVD圧が変化しても貯血レベルには変化がみられなかった。

実験の様子は動画サイトYouTubeにてkeyword“OLC-RPとOLC-CP”に掲載してある(URL: <http://www.youtube.com/watch?v=mTF3W0Bry9o>)。

4. 考察

人工心肺における貯血レベルの調整は安全確保の上でも、また部分体外循環時には心臓の前負荷を適正に維持するためにも重要となる。しかし、現在広く用いられている開放型の人工心肺において、貯血レベルは送血流量と脱血流量のバランスで維持されているため不安定で、その調整は難しい。また、体外循環中の脱血不良は比較的頻繁に発生するが、これを見逃すと貯血槽が空になり空気を誤送する危険があり、実際に事故も発生している。

貯血レベルを安定化させる試みは人工心肺の開発当初から1980年代までは研究されたが、現在実現している制御装置はない。空気の誤送を防ぐため、貯血槽にレベルセンサーを取り付け、貯血レベルの低下をアラームで知らせたり、貯血レベルの低下時に送血ポンプを停止させる装置は

販売されている。しかし、貯血レベルがセンサー部に達した時点で体外循環が急停止するため、循環動態が不安定になってしまい、また貯血レベルの安定は得られない。

OLCは貯血レベルの安定化装置として機能し、体外循環からの離脱時に脱血流量を絞るだけで離脱操作が行える。また空気誤送を防ぐ安全装置としても機能する。

遠心ポンプによる体外循環では、逆流を防ぐため、送血回路への鉗子操作が必要になる。OLC-CPでは遠心ポンプの逆流を防ぐことが可能で、遠心ポンプを用いた体外循環の操作性と安全性の向上が期待できる。また、広く普及してきたVAVDにも対応可能である。

今後、臨床応用を行い、その有用性を報告したい。

5. まとめ

OLCにより人工心肺の貯血レベルの安定化を図ることができる。これは安定した体外循環に寄与するだけでなく、安全装置としても機能する。また、遠心ポンプを用いた場合には遠心ポンプの欠点となる送血回路からの逆流も防ぐことができ、VAVDにも対応できる。今後の臨床評価を課題とする。

6. 独創性

OLCは以下の点に独創性があると考えられる。

- ①貯血レベルを静水圧で測定し送血ポンプを制御している点。
- ②静水圧は貯血槽の底まで伸びている direct port 部の圧で測定しており、血液と非接触で高精度である点。
- ③単純な原理(制御法)であり、貯血レベルをタッチパネルで直感的に操作できる点。

文 献

- 1) Momose N, Yamakoshi R, Kokubo R, et al: Development of a new control device for stabilizing blood level in reservoir during extracorporeal circulation. *Perfusion* **25**: 77-82, 2010
- 2) 百瀬直樹, 山越理恵, 小久保領, 他: 開放型人工心肺回路における貯血レベルの自動制御システムの開発. *体外循環技術* **37**: 85-91, 2010
- 3) 百瀬直樹, 草浦理恵, 小久保領, 他: 開放型人工心肺回路における貯血レベル安定化装置の遠心ポンプモデルの開発 —貯血レベルの安定化と逆流防止—. *体外循環技術* **38**: 121-7, 2011
- 4) 百瀬直樹, 草浦理恵, 小久保領, 他: O-13-4 吸引補助脱血に対応可能な開放回路における貯血レベル安定化装置の開発. *体外循環技術* **38**: 423, 2011
- 5) Tokumine A, Momose N, Tomizawa Y, et al: Evaluation of a new control device stabilizing venous reservoir level. *Journal of the American Society of Artificial Internal Organs* **57**: 76, 2011