

シリンジポンプを用いたローラポンプの圧閉度調整法

埼玉医科大学保健医療学部臨床工学科 清水悠太、代 隼矢、塚本涼介

要旨

ローラポンプの圧閉度は回路液面や内圧の降下速度により調整されるが、施行者の主観による影響がある。そこで JIS T1603 に規定される方法と整合性があり、人工心肺の使用環境に既存の機材を用いた定量的な調整法を考案した。本手法はポンプチューブの圧閉部に対し、シリンジポンプを用いて JIS に規定された漏れ流量で注入を行った際の注入圧を適正に調整する。本手法の原理の定量的な評価実験を行い、有用性を検討した。

1. 目的

人工心肺のローラポンプの圧閉度調整法は JIS T1603 に規定され（以下、JIS 法）、ポンプチューブの出口に標準輸液セット（15 滴/mL）を取り付け、ポンプチューブの圧閉部前後に 100cmH₂O の圧力差をつけたときに輸液セットに毎分 5～10 滴の滴下があるよう、すなわち毎分約 0.33～0.67mL の漏れがあるように圧閉度を調整するものである¹⁾。しかし JIS 法の煩雑さから実際の臨床においては、送血回路を 1m の高さに掲げ、回路の液面が毎分 1cm 降下するように調整する液面降下法や、回路内圧を 250mmHg まで上昇させ、10 秒あたり 5mmHg の圧力降下に調整する圧力降下法で行われているが、これらは降下速度の見極めに個人差が生じることや JIS 法との整合性も曖昧である²⁾³⁾。そのため我々は、圧閉度調整の定量化を試みてきた⁴⁾。

新たに JIS 法と整合性がある方法を考案するため、適正圧閉に調整されたローラによる圧閉部のチューブ内の流路抵抗を抵抗 R、圧閉部前後の圧力差を電圧 E、その圧力差によって生じる漏れ流量を電流 I とし、圧閉度調整をオームの法則で考えた。JIS 法は電圧 E を一定にして、電流 I が適正となるよう抵抗 R を調整している。そこで我々は電流 I を一定にして電圧 E を適正にする方法を考え、さらに人工心肺の使用環境に既存の機材を用いた方法とするため、一定の漏れ流量を得るためにシリンジポンプを用いることにした。人工心肺回路のローラポンプ出口には、人工肺入口圧を測定する回路内圧計が設置されている。その側枝にシリンジポンプを接続し、シリンジポンプで回路充填液の一部を適正圧閉の漏れ流量でローラポンプ側に注入し、回路内圧が 100cmH₂O になるように圧閉度を調整する方法（以下、シリンジポンプ法）を考案した（図 1）。

本研究では JIS 法により適正圧閉に調整した圧閉部に対し、シリンジポンプから適正範囲内の漏れ流量で充填液を注入したとき、注入圧が 100cmH₂O となるか実験した。さらに実際に人工心肺回路を模擬してシリンジポンプ法による圧閉度調整を試みた。

2. 方法

シリンジポンプ法の原理の定量的な評価を行うため、チューブの圧閉にはダイヤル式で

圧閉度の調整と固定が可能なオクルーダを用いた（図 2）。実験には内径 9.5mm のポンプチューブを用いた。はじめに JIS 法により適正圧閉にオクルーダを調整した。そのとき電子天秤を用いて圧閉部からの漏れ流量を実測した。実測した漏れ流量をシリンジポンプ（シリンジサイズ 50mL）に設定し圧閉部に注入を開始し、注入圧の変化と漏れ量を連続記録した。1 回ごとに回路内圧を開放し、同じ圧閉部に対し 4 回の計測を行った。注入実験後、JIS 法により漏れ流量を再計測した。

3. 結果

JIS 法による漏れ流量の実測値から、流量 32.3mL/hr（約 0.54mL/min）をシリンジポンプに設定し注入した。漏れ流量の実測はシリンジポンプの設定流量とほぼ同量となった（表 1）。1 回目の注入圧は注入開始直後から上昇し、およそ 300 秒後に JIS で規定される 100cmH₂O（73.5mmHg）に到達しほぼ一定となった。2～4 回目の実験でも圧力変化は同じ傾向だが、到達圧は順次高くなった（図 3）。注入実験後、JIS 法で再計測した漏れ流量は 0.48mL/min であり、JIS 法にて適正圧閉に調整した実験開始時より減少した。

4. 考察

適正圧閉に調整した圧閉部へ JIS 法に規定される漏れ流量で注入することにより、圧閉部にはおよそ 100cmH₂O の圧力差が発生することが分かった。ただし注入開始後、注入圧が一定の圧力に到達するまでに時間がかかった。これはポンプチューブの弾性の影響で圧閉部以外のチューブが膨らみ切るまで徐々に注入圧が上昇していき、そこから一定の圧力での注入が行われたと考える。

同じ圧閉部に対し同じ流量で注入したが、実験ごとに到達圧が高くなった。さらに実験後の漏れ流量の再計測にて、圧閉部に JIS 法での圧力差（100cmH₂O）を付けたにもかかわらず、漏れ流量は実験前より減少した。つまり、実験後の圧閉度は開始時よりきつくなっていた。オクルーダの隙間は構造上ダイヤルで設定後は固定されているため、その原因はポンプチューブにあると考える。長時間の加圧状態により圧閉部のポンプチューブの弾性が変化したと推察され、臨床使用でも同様のことが発生していることが示唆された。

図 1 に示す原理に基づき、人工心肺の模擬回路にて本手法による圧閉度調整を試みた。ポンプ出口と高さを揃えた人工肺入口の回路内圧の測定部には、静脈リザーバ内の充填液による水頭圧が 10mmHg かかっていたため、目標注入圧を 83.5mmHg として調整した。オクリュージョン調節ノブの操作に対する圧力変化が鋭敏で調整時間を要すると感じた。また実験回路よりも人工心肺回路は長く、そのコンプライアンスの影響を考慮しなければならない。今後、到達圧までの時間を短縮するため注入流量を増加させたときの、JIS 法と整合する目標到達圧を検証したいと考える。

5. まとめ

ローラポンプの圧閉度調整において、シリンジポンプ法は人工心肺回路として余分な材料を用いず、シリンジポンプの注入流量の数値設定による簡便な方法で、JIS 法と整合性のある圧閉度調整が可能になると期待できる。

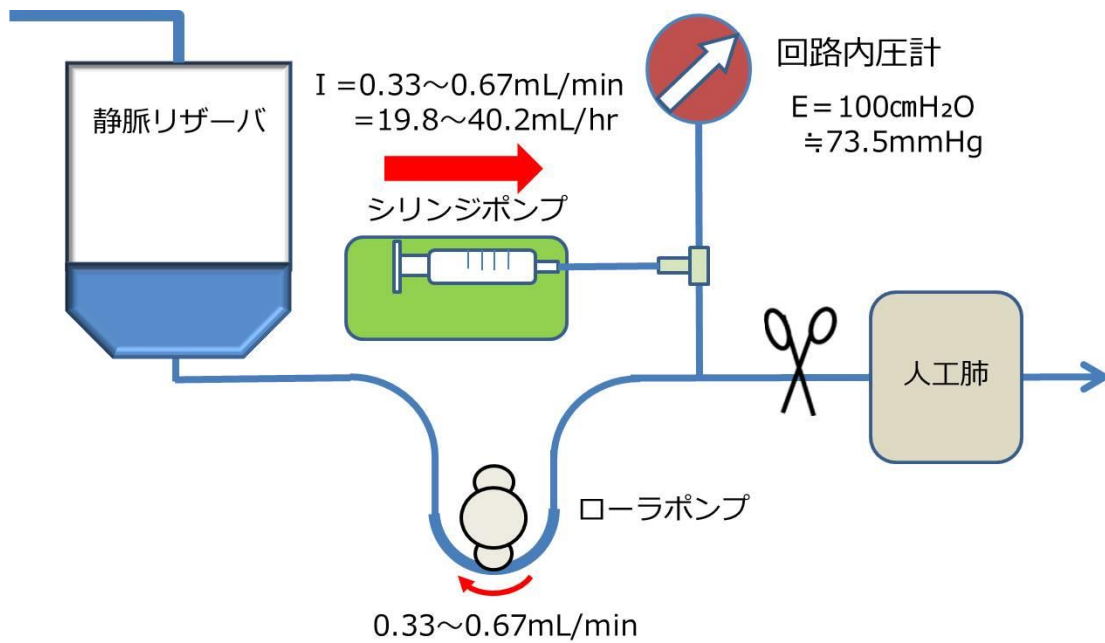


図1 シリンジポンプを用いた圧閉度調整の原理

シリンジポンプを用いてポンプチューブの圧閉部に対し JIS に規定された漏れ流量での注入を行い、その際の注入圧を適正に調整する。

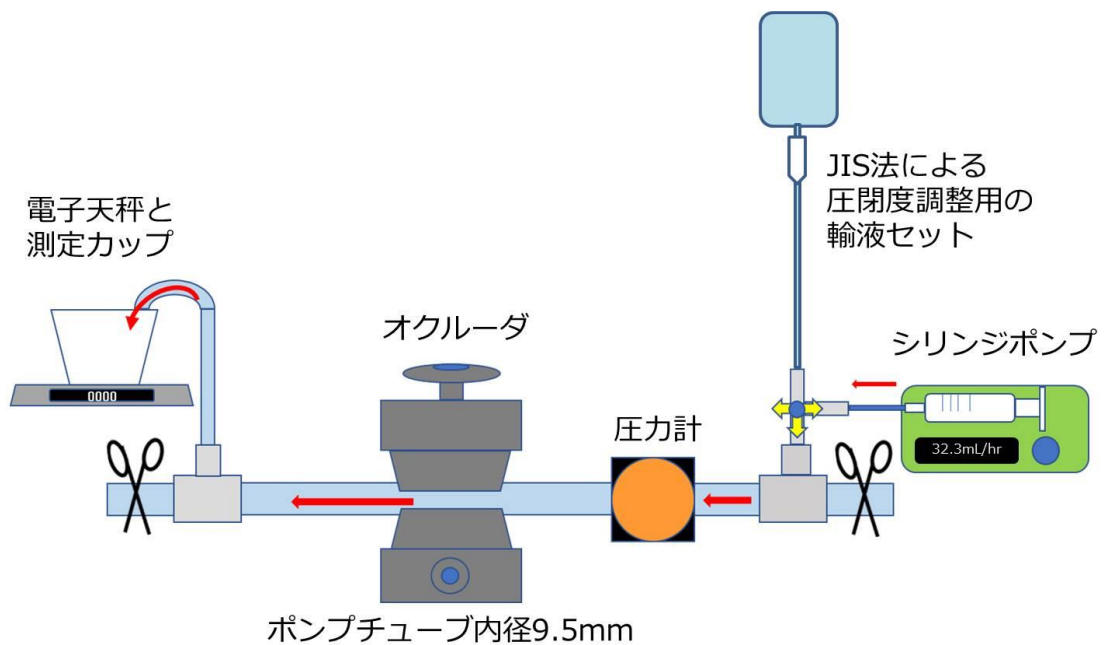


図2 実験装置

シリンジポンプ法の原理の定量的評価のための実験装置。チューブの圧閉にはダイヤル式で圧閉度の調整と固定が可能なオクルーダを用いた。

表1 圧閉部からの漏れ流量の実測
シリンジポンプ設定流量 32.3mL/hr

漏れ流量(mL/hr)	
1回目	31.7
2回目	32.1
3回目	31.7
4回目	32.0
平均値	31.9
標準偏差	0.179

JIS 法による漏れ流量の実測値から、流量 32.3mL/hr をシリンジポンプに設定し注入したときの圧閉部からの漏れ流量の実測値。

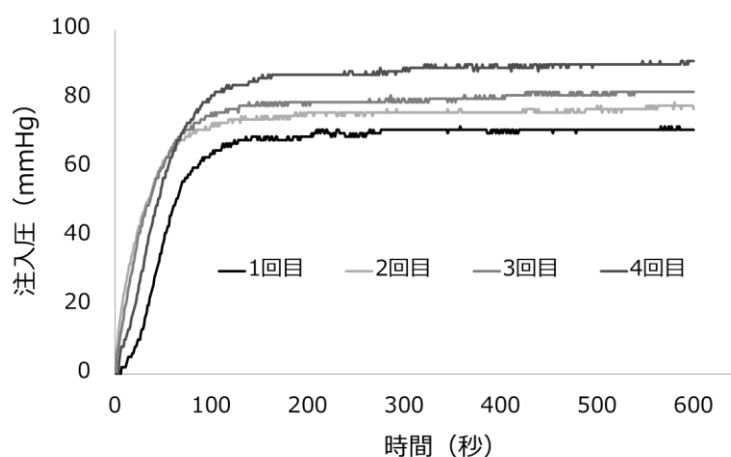


図3 シリンジポンプによる注入圧の変化

適正圧閉に調整した圧閉部へ JIS 法に規定される漏れ流量で注入することにより、圧閉部にはおよそ 100cmH₂O (73.5mmHg) の圧力差が発生した。

文献

- 1) 日本規格協会：人工心肺用電動式血液ポンプ. JIS T1603, 1995.
- 2) 後藤和大、野川 渚、林 裕樹ほか：ガイドラインに準じた適正圧閉度調整における施行者による誤差の検討. 体外循環技術, 37(1) : 46-49, 2010.
- 3) 中畑 碧、工藤剛実、佐藤直由ほか：ローラーポンプの圧閉度調整方法の現状と今後の課題—北海道・東北地方におけるアンケート調査より—. 体外循環技術, 43(4) : 360-366, 2016.
- 4) 小野寺勝浩：ひずみ測定によるローラポンプの圧閉度評価法の検討. クリニカルエンジニアリング, 24(7) : 708-709, 秀潤社. 2013.

指導教員：埼玉医科大学保健医療学部臨床工学科 奥村高広、白石直子