

シリンジポンプの薬剤交換手技が流速変動に及ぼす影響の検証

吉田 浩二¹⁾, 寺尾 嘉彰¹⁾²⁾¹⁾長崎労災病院臨床工学部²⁾長崎労災病院麻酔科

(2024 年 12 月 23 日受付)

要旨：【目的】循環作動薬でのシリンジポンプ薬剤交換は、交換時の流速変動が循環変動に大きく影響するため、流速低下を最小限にすることが重要である。今回、交換手技が、注入流速に及ぼす影響について検証した。【方法】先行シリンジポンプを 3mL/h で開始、60 分後に交換用シリンジポンプで薬剤交換を行い、前後の流速変動解析を行った。交換方法は、本邦のシリンジ交換法に関する研究動向から得た代表的な 4 手法で評価を行った。【結果】通常交換法では、交換後に急激な流速低下を生じ、回復に 20 分程度時間を要した。30 分間空回し交換法では、交換直後の流速低下は改善し、流速回復までの時間は短縮した。同量維持交差交換法では、交換開始後の流速低下は改善したが、流速回復までの時間は延長した。倍量開始漸減交換では、交換開始後から流速は上昇し、先行シリンジポンプ流量漸減とともに下降した。【結論】平均流速変動を比較すると、流速変動が最も少ない方法は、30 分間空回し交換法と結論した。

(日職災医誌, 73 : 114—119, 2025)

—キーワード—

シリンジポンプ, 薬剤交換, 流速変動

はじめに

重症患者管理では、複数の静脈経路から呼吸循環維持を目的に様々な輸液・薬剤が精密持続投与される。多剤併用される薬剤投与は、管理上、薬剤種別、配合禁忌、投与形式等により注入経路が分けられ、治療条件によって複雑な投与システムが構築される。この高度な薬剤管理が可能となった背景には、薬剤注入機器や生体情報モニタの進化と普及があることは言うまでもない。高水準な管理技術が一般化した反面で、看護師業務は、医師指示に則した流量調整、時間での指定薬剤投与、持続薬剤交換、定期消耗材料交換など、薬剤注入以外は全て人的管理であり、複雑化するほど業務負担は大きくなる。その中でも循環作動薬の薬剤交換は、僅かな注入流速変動で大きな循環変動を来し、場合によっては許容できない循環変動を生じることから、他薬剤に比してより慎重な管理が求められる。循環作動薬交換に関する研究報告は、交換時の血圧推移や薬液濃度で有効性を確認した方法^{1)~3)}がいくつか報告されているが、現在の技術を要しても未だ交換手技の確立には至っていない。この循環変動は、薬剤注入機器の駆動原理に由来したスタートアップカーブと呼ばれる流量が安定するまでの特性^{4)~6)}が大き

く影響しており、交換前後の流速変化を観察することで、報告された交換方法が合理的であるか薬剤注入機器の視点から重要な情報が得られると考えるが、これまでに流速変動に関する報告はない。今回、臨床で実践されている代表的なシリンジ交換方法別に交換前後の流速変動に焦点をあて交換方法が流速に及ぼす影響について検証した。

方 法

測定方法は、TERUMO 社製 TE381 シリンジポンプを 2 台使用し、先行する 1 台目シリンジポンプを 3mL/h で開始して、60 分後に三方活栓を使用して交換用の 2 台目シリンジポンプで薬剤交換を行った。交換前後 120 分間を電子天秤で 1 秒間隔に記録し、交換方法別に流速変動解析を行った。シリンジサイズは、50mL を使用した。解析方法は、各方法別に 10 回測定を行い、交換手技前後の重量変化から流速グラフを作成し比較した。統計学的分析は Excel 統計を使用し、群間は Kruskal-Wallis test, 群内は Friedman test, post hoc test として Scheffe test を使用した。危険率 0.05 未満を有意差ありとした。交換方法は、本邦のシリンジ交換法に関する研究動向から得た代表的な 4 手法で評価を行った。第 1 は、先行す

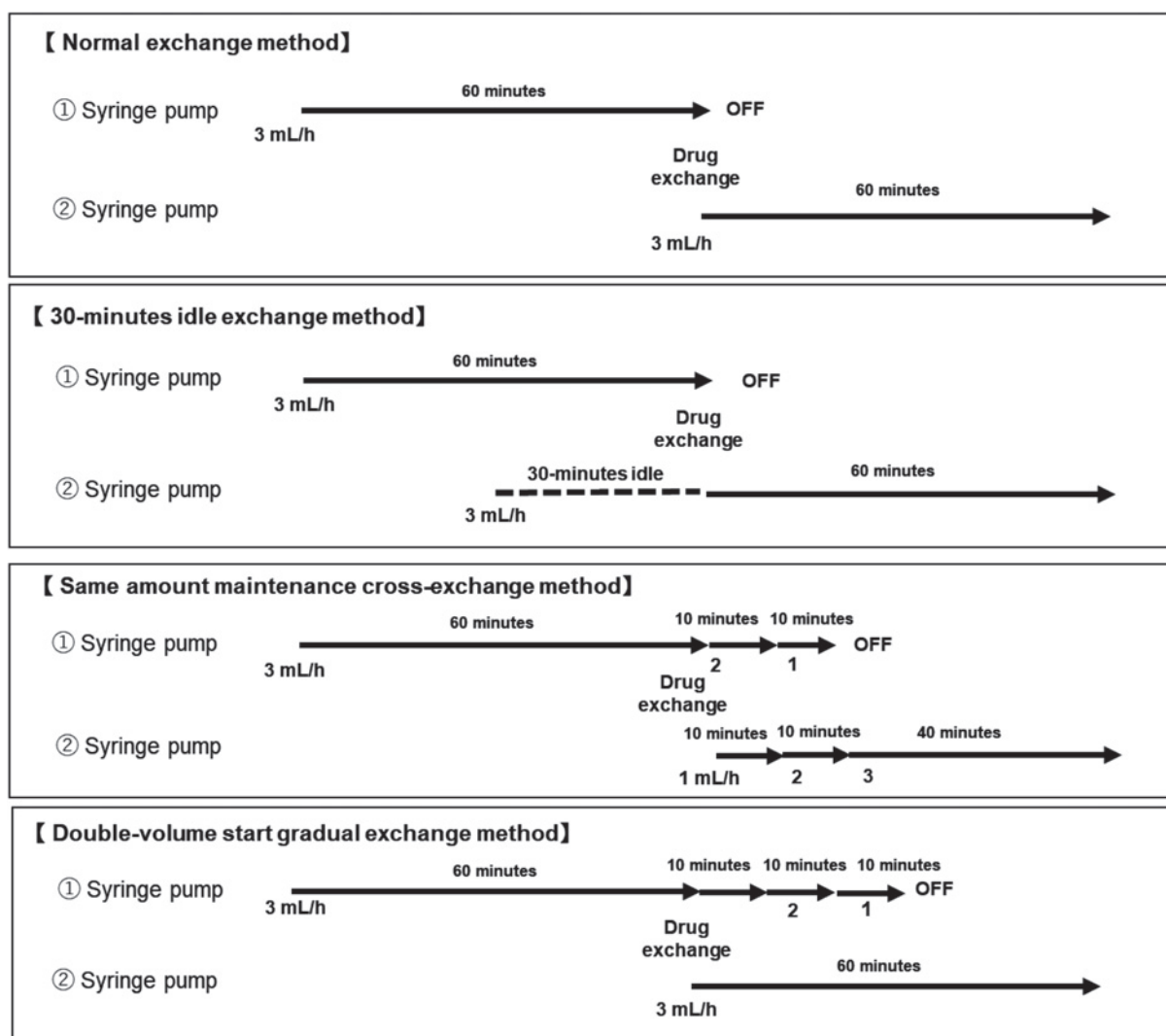


Fig. 1 Exchange method

る1台目シリンジポンプを停止して、交換用の2台目シリンジポンプを開始する方法で通常交換法とした。第2は、交換用の2台目シリンジポンプを交換30分前から未接続で注入状態とし、交換時に作動を停止することなく接続する方法で30分間空回し交換法とした。第3は、交換時に先行する1台目シリンジポンプと交換用の2台目シリンジポンプの設定量総和が交換前設定量と同量となるように流量を調節し、交差しながら緩やかに交換する方法で同量維持交差交換法とした。第4は、交換時に先行する1台目シリンジポンプを停止することなく交換用の2台目シリンジポンプを同量で開始し、その後、1台目シリンジポンプを漸減して終了する方法で倍量開始漸減交換法とした(Fig. 1)。今回、臨床で実践されている各交換方法の明確な定義や統一呼称など確認できなかったため、新たに独自呼称を作成し表記した。これまでの先行研究や文献を確認すると、切り替え指標や設定が異なるものの、我々が通常交換法とした手技は、オンオフ法であり、30分間空回し交換法は、ウォームアップ法やク

イック交換法と同様で、同量維持交差交換法では、並列交換法、2台同量法、シリンジポンプ併用段階変動交換法となり、倍量開始漸減交換法は、2台倍量法やシリンジポンプ併用切替法である。また、この検証は、TERUMO社製シリンジポンプを使用した限定条件における測定結果である。

結 果

通常交換法では、交換後5分間の流速値は0.3 (0.2～0.4) mL/hへ急激に低下を認め、その後、流速回復までに20分程度時間を要した(Table 1)。30分間空回し交換法では、交換後5分間の流速値は2.3 (2.2～2.4) mL/hで、通常交換法に比して改善し、流速回復時間においても短縮した(Table 1)。同量維持交差交換法では、交換後5分間の流速値は2.4 (2.3～2.5) mL/hで、こちらも通常交換法に比して改善したが5～10分後の流速は1.9 (1.9～2.0) mL/hへ更に低下し、その後、緩やかに回復する経過となった(Table 1)。倍量開始漸減交換法では、交

Table 1 Median on flow velocity during different times with different exchange methods

	Set flow rate mL/h	Before exchange 5 minutes	After exchange 0-5 minutes	After exchange 5-10 minutes	After exchange 10-15 minutes	After exchange 15-20 minutes	After exchange 20-25 minutes	After exchange 25-30 minutes	After exchange 30-35 minutes
Normal exchange method	3 mL/h	2.8 (2.7-2.8)	0.3 (0.2-0.4) # #	1.6 (1.2-1.8) # #	2.4 (2.3-2.5)	2.6 (2.6-2.7)	2.7 (2.7-2.8)	2.8 (2.7-2.8)	2.8 (2.7-2.8)
30-minute idle exchange method	3 mL/h	2.8 (2.7-2.8)	2.3 (2.2-2.4) #	2.7 (2.6-2.8) ※※	2.7 (2.7-2.8)	2.8 (2.7-2.9)	2.8 (2.7-2.8)	2.8 (2.7-2.8)	2.8 (2.8-2.9)
Same amount maintenance cross-exchange method	3 mL/h	2.8 (2.7-2.9)	2.4 (2.3-2.5) ※ #	1.9 (1.9-2.0) # #	2.6 (2.3-2.8)	2.5 (2.3-2.5)	2.4 (2.3-2.5)	2.7 (2.5-2.7)	2.7 (2.6-2.8)
Double-volume start gradual exchange method	3 mL/h	2.8 (2.7-2.9)	3.3 (3.1-3.4) ※※ # #	4.8 (4.6-4.9) ※※ # #	4.9 (4.7-4.9) ※※ #	4.5 (4.5-4.7) ※※	4.2 (4.1-4.3) ※	3.7 (3.7-3.7) ※	2.8 (2.7-2.8)

Median on flow velocity at different times (IQR)

Between groups Kruskal-Wallis test ※※ VS. Normal exchange method P<0.01 ※ VS. Normal exchange method P<0.05

Within the group Friedman's test # # VS. Before exchange 5 minutes P<0.01 # VS. Before exchange 5 minutes P<0.05

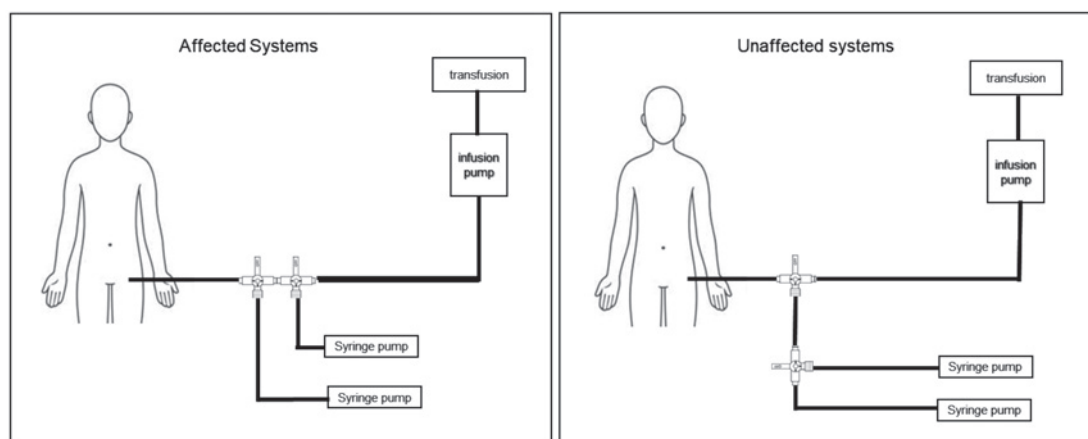


Fig. 2 Circulatory agonist route

換後5分間の流速値は3.3 (3.1~3.4) mL/hで交換開始後から通常交換法に比して上昇した (Table 1)。また、上昇した流速は、1台目シリンジポンプ流量の漸減とともに緩やかに下降する経過となった。

考 察

この問題の背景には、使用する薬剤の薬理特性があり、代表例としてノルアドリナリン®では、強力かつ俊敏な昇圧反応が得られる反面、持続時間は1~2分⁷⁾と短時間であるため、薬剤交換時に生じる僅かな流速変動に対して血圧が反応する。この流速変動は、交換時の注入停止時間、交換後の機械的安定までに要する時間、新旧ルート接続部間で生じる薬剤濃度低下区域など様々な要因が複合的に影響を及ぼすため、その程度は交換手技に大きく依存する。この薬理特性を手動交換で制御することは不可能と考えられ、近年、自動交換機能を有する高機能な薬剤注入機器が登場しているが、一般化された機能ではなく、実用もこれからである。それゆえに循環変動ができる限り少ない薬剤交換技術の確立は、重症患者の生体

負荷軽減、効率化、業務ストレス軽減には極めて重要となる。本邦のシリンジ交換法に関する研究動向を見ると、前述した方法に集約されつつあるが、根本的解決が困難な問題であるため結論に至れず、それぞれの交換方法で有効性の報告があり、また、施設によって追加修正した方法も多く、情報としては雑然としている。この薬剤交換に伴う循環変動問題をシリンジポンプ機械特性から考察すると、先行する1台目シリンジポンプの停止動作は安定状態から流速が急速低下し、対して開始された交換用の2台目シリンジポンプ流速は、スタートアップ特性により緩徐な上昇経過となるため、2台の注入流速移行は大きなずれを生じている。以前、我々は、シリンジポンプ投与開始初期の流量精度について検証を行い、原因とされる摺動抵抗の影響は、低流量設定で大容量シリンジになるほど大きいことを関連学会で報告している。^{8)~10)}今回、通常交換法では、交換後5分間は、流速が0.3 (0.2~0.4) mL/hへ急速に低下を来し、流速回復までに20分程度要しており、交換用の2台目シリンジポンプ流速上昇遅延が大きく影響していることがわかる (Fig.

2). この通常交換法は、前述したシリンジポンプ流速低下原因に対して対策なき方法で、交換時の流速維持は大きく破綻している。ノルアドリナリン[®]血中半減期が極めて短いことを考えると、この方法では大きな循環変動を生じる可能性が高いことが示唆された。対して30分間空回し交換法では、通常交換法と比すると交換後5分間の流速低下が抑制されている (Table 1)。これは接続前から2台目シリンジポンプを動作状態にすることで、通常交換法の流速低下原因であったスタートアップ特性を回避し、流速維持できたと考えられる。これは2台目シリンジポンプ流速上昇遅延に介入した方法であり、1台目シリンジポンプ流速低下を完全ではないが大きく代償できている。この結果から30分間空回し交換法は、流速低下抑制に優れた交換方法であることが示唆された。また、30分間空回し交換法は、交換に要する機器操作回数が他の手法に比して少なく、手技が複雑でないことも臨床使用に適すると考えるが、30分間空回し中の清潔保持や、先端を低位から持ち上げて接続すると先端液面が落差変動で空気を引き込んで接続されるため、2台目シリンジポンプの準備環境には注意が必要である。次に同量維持交差交換法では、交換開始後5~10分間で最大流速低下となった (Table 1)。交換開始後10分間のシリンジポンプ流速を考えると、1台目シリンジポンプは交換開始時に3mL/hから2mL/hへ減量し、2台目シリンジポンプは1mL/hで開始するため、2台目の流速が一定期間ゼロに近いとすれば、交換開始直後の流速は2mL/h程度と推測される。その後、2台目シリンジポンプ流速は緩やかに上昇傾向となるため、最大流速低下は交換開始直後と予測されるが、実際には交換後0~5分の流速は2.4 (2.3~2.5) mL/h、交換後5~10分では1.9 (1.9~2.0) mL/hとなり矛盾する。これは1台目シリンジポンプ減量操作の流速変化が、停止操作に比して緩やかに変化しており、減量操作後に一定期間の流速移行期を経て、設定流速へ移行したことで最大流速低下時期が後方シフトしたと考えられる (Table 1)。この交換方法は、1台目シリンジポンプの流速低下に対して介入した方法で、交換開始後の流速維持は得られているが、交差交換の設定を同量としたことで、2台目シリンジポンプが低流量設定から開始となり、流速上昇に対しては逆効果となっている。その結果、交換直後の流速低下は抑制できたが、2台目シリンジポンプ流速上昇はさらに遅延し、流速回復が他の交換方法に比して延長したと考える。この交換方法に対して、斎藤らは「安定流量が得られる以前に旧シリンジポンプを減量することにより薬液濃度の低下が起こる」¹⁾とし、山田らは「頻回に流量変更をする必要があり、シリンジ交換時は流量変更をする度に流量誤差が発生している」¹¹⁾と述べ、流速安定に時間を要することを報告している。また、交換に要する機器操作が他の交換方法に比べ煩雑で、誤操作リスクを指摘する文献も多く、多忙な臨

床では短所と言える。倍量開始漸減交換法では、交換開始直後から注入流速は上昇し、1台目シリンジポンプ漸減操作で緩やかに交換前流速に戻る経過となった (Table 1)。この流速上昇変化は、交換開始時に1台目シリンジポンプの流速低下因子がなく、2台目シリンジポンプの流速を上乗せするため、交換中に設定流速を下回ることがない。この倍量開始漸減交換法は、1台目シリンジポンプ流速低下に対して介入した方法で、交換時の設定を同量としないことで、より強力に流速低下を抑制した結果となった。今回の検証では、1台目シリンジポンプの漸減間隔を10分間固定としたが、臨床では動脈圧モニタリング下となるため血圧推移を見ながら漸減タイミングを調整すれば更に安定した交換が可能と考える。交換中、血圧の過度な上方変動に注意を要するが、循環作動薬高用量投与かつ低血圧症例では、血圧低下を最も抑制できる最良の方法になり得ることが示唆された。本研究で、有効とされる交換方法の特徴的な流速波形を抽出し、流速変動を可視化したことで、それぞれの介入機序を理論的に分析でき、これまで間接的であった有効性への評価をより明確にすることができた。この4手法の平均流速変動を比較すると、交換時の流速変動が最も少ない交換方法は、30分間空回し交換法となり、交換手技も他の交換方法に比して単純であるため臨床で最も有効な交換方法であると結論した。今回は3mL/h設定であったが、この設定流速を変えると取扱説明書の記載にあるスタートアップカーブ特性²⁾に応じて流速上昇までの時間が延長または短縮すると考えられる。但し、今回の流速波形は、限定的条件下での機械的注入特性を捉えた実験データであり、異なる投与条件や生体投与下では一致しない可能性は否定できない。最後に、この交換方法を実践するには、管理基盤となる循環作動薬ルート構成が極めて重要となる。通常、輸液ラインから多剤を投与する場合、三方活栓や閉鎖式接続部を使用して分岐を作り、側管ルートとして注入される。流速変動が問題とならない薬剤であれば、接続構成が薬剤管理に支障を来すことはないが、循環作動薬では、薬剤交換時に他剤が混入し、濃度低下区域が発生すると循環変動の原因となる。循環作動薬管理では、本管ルートに対して注入経路が交換用を含めルート2カ所必要になり、この注入経路を本管ルートに対して、それぞれ別に接続すると濃度低下区域の発生を回避できない。これを回避するためには、本管ルートへの接続を1カ所にした循環作動薬ルートを作成し、その側管ルート内で三方活栓を使用して2カ所経路を確保することで濃度低下区域の発生がない安定した注入環境を構築できると考える (Fig. 2)。

結 語

今回、代表的なシリンジポンプ薬剤交換方法の交換手技が流速変動に及ぼす影響の検証を行った。代表的な交

換方法は、抽出された流速変動波形からそれぞれ異なる機序で流速低下抑制に介入した方法であった。検証した流速変動波形では、30分間空回し交換法が、循環変動を最も抑制できる簡便で有効な方法であることが示唆された。今後、医療機器の更なる技術革新により薬剤注入機器と生体情報モニタが連動して循環変動を生じない薬剤交換ができる未来を期待する。

謝辞：本研究は独立行政法人労働者健康安全機構病院機能向上のための研究活動支援 JPJHAS2022 によるものである。

第50回日本集中治療医学会学術集会（2023年、京都）で発表した

〔COI開示〕本稿のすべての著者に規定されたCOIはない。

文 献

- 1) 齊藤沙織, 城丸瑞恵: カテコラミン製剤のシリンジ交換に関する研究動向. 日本臨床救急医学会雑誌 16: 551—556, 2013.
- 2) 吉村一徳, 田坂美穂子, 加藤由紀恵: 安全なカテコラミンのシリンジ交換法の確立. 日本医療マネジメント学会会誌 18: 229—233, 2018.
- 3) 土門映美, 内橋真由美, 五十嵐太之, 他: 効率的なシリンジ交換法の検討. 日本臨床救急医学会雑誌 15: 382—386, 2012.
- 4) テルモ: テルモフュージョン[®]シリンジポンプ 38 型. 取扱説明書. 東京, テルモ, 2021, pp 94—97.
- 5) 吉田浩二, 寺尾嘉彰: 輸液ポンプの使用条件が流量精度

に及ぼす影響の検証. 日本職業災害医学会会誌 70: 22—30, 2022.

- 6) 吉田浩二, 福崎 誠: 滴数制御型輸液ポンプでのカテコラミン製剤投与における流量誤差の検証. 日本職業災害医学会会誌 59: 189—192, 2011.
- 7) アルフレッサファーマ製品情報部: 添付文書. 日本薬局方ノルアドレナリン注射液ノルアドレナリン[®]注 1mg. 大阪, アルフレッサファーマ, 2019, pp 1—2.
- 8) 吉田浩二, 寺尾嘉彰, 福崎 誠: ディスポーザブルシリンジの摺動抵抗がシリンジポンプ流量精度へ及ぼす影響の検証. 日本職業災害医学会会誌 65: 96—101, 2017.
- 9) 吉田浩二, 寺尾嘉彰, 福崎 誠: 各社ディスポーザブルシリンジの摺動抵抗がシリンジポンプ流量精度へ及ぼす影響の検証. 日本職業災害医学会会誌 66: 181—189, 2018.
- 10) 吉田浩二, 福崎 誠: シリンジポンプの使用条件が注入量に及ぼす影響の検証. 日本職業災害医学会会誌 63: 31—35, 2014.
- 11) 山田憲幸, 中西沙希子, 岩館 直, 他: カテコラミン使用時におけるシリンジ交換法の検討. 北海道臨床工学会会誌 22: 21—23, 2012.

別刷請求先 〒857-0134 長崎県佐世保市瀬戸越 2—12—5
長崎労災病院臨床工学部
吉田 浩二

Reprint request:

Koji Yoshida
Division of Medical Engineering, Nagasaki Rosai Hospital, 2-12-5 Setogoe, Sasebo, Nagasaki, 857-0134, Japan

Effects of Different Syringe Pump Drug-exchange Methods on the Flow Velocity Fluctuation

Koji Yoshida¹⁾ and Yoshiaki Terao^{1,2)}

¹⁾Division of Medical Engineering, Nagasaki Rosai Hospital

²⁾Department of Anesthesia, Nagasaki Rosai Hospital

Objective: Minimizing the reduction in flow velocity in the syringe pump during drug exchange with circulatory agonists is important because the flow velocity fluctuation during the exchange greatly affects the circulating variation. This study aimed to examine the effect of the exchange method on the injection flow rate.

Methods: We used TERUMO TE-381 in this study. The preceding syringe pump was started at 3 mL/h, and the drug was changed using a replacement syringe pump after 60 minutes. A before-and-after analysis of the flow velocity fluctuation was performed.

Results: In the normal exchange method, a rapid reduction in the flow velocity occurred after the exchange, and it took approximately 20 minutes to recover. In the 30-minute idle exchange method, the reduction in flow velocity improved immediately after replacement, and the time until flow velocity recovery reduced. In the same amount maintenance cross-exchange method, the flow velocity reduction improved after starting the exchange; however, the time to flow velocity recovery increased. In the double-volume start gradual exchange method, the flow velocity increased after starting the exchange and decreased with the gradual decrease in the flow rate of the preceding syringe pump.

Conclusions: When comparing the average flow velocity fluctuations of different exchange methods, the 30-minute idle exchange method showed the least flow velocity fluctuations.

(JJOMT, 73: 114—119, 2025)

—Key words—

syringe pump, drug exchange, flow velocity fluctuation