

## 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

吉田 浩二<sup>1)</sup>, 寺尾 嘉彰<sup>1)2)</sup>, 福崎 誠<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>長崎労災病院臨床工学部

<sup>2)</sup>長崎労災病院麻酔科

(平成 28 年 9 月 7 日受付)

**要旨**：ディスポーザブルシリンジ構造は各シリンジサイズによってガスケット部分の大きさや形状が異なるため、シリンジポンプで薬剤投与する際に投与流量が同じでもガスケット部分で生じる摺動抵抗特性は異なり、精密管理に影響を来す可能性がある。

今回、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を行った。使用機材及び材料は TERUMO 社製シリンジポンプ TE-351<sup>®</sup>、TERUMO 社製ディスポーザブルシリンジを使用した。測定方法はディスポーザブルシリンジに水道水を充填し、電子天秤 A&D 社製 EK200i にて各シリンジサイズ別に 120 分間の注入量を測定した。各投与流量群の総注入量誤差率は、投与 60 分未満群では小容量シリンジに比して大容量シリンジで有意に増加した。また、全てのシリンジサイズで高流量設定に比して低流量設定で総注入量誤差率は増加した。

投与 60 分以降群では、投与 60 分未満群に比して全ての投与流量群で総注入量誤差率は有意に低下した。また、投与流量別では投与 60 分未満群と同様に、低流量投与で誤差は有意に増加したが、シリンジサイズ別では誤差に有意差は認めなかった。設定流量到達時間では、シリンジサイズが大きくなるほど設定流量到達時間は延長した。このことから、TERUMO 社製ディスポーザブルシリンジでは大容量シリンジ及び低流量投与で摺動抵抗の影響が大きくなり、特に投与開始初期の流量精度に大きく関与していることが明らかとなった。精密管理を要する薬剤投与を行う場合は、ディスポーザブルシリンジの摺動抵抗特性には注意が必要である。

(日職災医誌, 65 : 96—101, 2017)

### —キーワード—

シリンジポンプ, 注入量誤差, 摺動抵抗

### はじめに

シリンジポンプは、構造・原理から薬剤注入精度が非常に高い機器である。そのため、精密管理が必要な薬剤や集中治療領域などの高度医療現場においては、必要不可欠な機器となっている。シリンジポンプ機器仕様での流量精度は、1.0mL/h 以上の流量で注入開始 1 時間以降の 1 時間ごとの精度が機械精度  $\pm 1\%$  以内、シリンジを含む精度で  $\pm 3\%$  以内と表記されている。<sup>1)</sup>また、シリンジポンプ流量特性を示すスタートアップカーブでは、高流量投与に比して低流量投与で流量精度安定までに時間を要す特性があり、同様にシリンジポンプ脈動特性を示すトランペットカーブでも、高流量投与に比して低流量投与で脈動が大きいことが知られている。前回検証した「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]<sup>2)</sup>では、複数機器併用が注入量へ及ぼす影響は少ないが、シリンジポンプ注入量誤差に、シリンジサイズ、及び投与流量が大きく関与していることが明らかとなった。このシリンジサイズと投与流量が流量精度へ及ぼす影響については、前述したシリンジポンプ流量特性に加えてディスポーザブルシリンジのガスケット部分における摺動抵抗が関与している可能性がある。ディスポーザブルシリンジ構造は、各シリンジサイズによってガスケット部分の大きさや形状が異なるため、投与流量が同じでもガスケット部分で生じる摺動抵抗特性は異なり、精密管理に影響を来すことが考えられる。今回、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を行った。

表1 投与時間0～60minにおける総注入量誤差

Terumo Syringe (n=10)

	Syringe SIZE FLOW RATE	5mL	10mL	20mL	30mL	50mL
		総注入量 mL (誤差率%) 0～60min	1mL/h 2mL/h 3mL/h 4mL/h 5mL/h	0.94±0.02 (-6.50)** 1.90±0.03 (-5.00)* 2.91±0.01 (-3.07)* 3.89±0.02 (-2.75)* 4.89±0.03 (-2.16)*	0.92±0.02 (-8.50)** 1.88±0.04 (-5.95) 2.86±0.03 (-4.57) 3.84±0.03 (-3.92) 4.85±0.05 (-2.96)	0.89±0.03 (-11.50)** 1.85±0.02 (-7.40) 2.84±0.03 (-5.23) 3.81±0.03 (-4.80) 4.80±0.04 (-4.08)

平均値±標準偏差

\*\*VS FLOW RATE 5mL/h (P&lt;0.05) \*VS 50mLsyringe (P&lt;0.05)

表2 投与時間60～120minにおける総注入量誤差

Terumo Syringe (n=10)

	Syringe SIZE FLOW RATE	5mL	10mL	20mL	30mL	50mL
		総注入量 mL (誤差率%) 60～120min	1mL/h 2mL/h 3mL/h 4mL/h 5mL/h	0.98±0.02 (-2.30) 1.98±0.01 (-1.20) — — —	0.97±0.01 (-2.60)** 1.96±0.02 (-1.85) 2.96±0.03 (-1.43) 3.96±0.02 (-0.98) 5.01±0.02 (0.14)	0.98±0.01 (-2.50)** 1.95±0.02 (-2.40) 2.97±0.02 (-1.03) 3.97±0.02 (-0.88) 4.97±0.02 (-0.56)

平均値±標準偏差

\*\*\*VS FLOW RATE 5mL/h (P&lt;0.05)

## 方 法

使用機器及び材料はTERUMO社製シリンジポンプTE-351<sup>®</sup>、TERUMO社製ディスポーザブルシリンジ5mL、10mL、20mL、30mL、50mL、JMS社製エクステンションチューブを使用した。測定方法はディスポーザブルシリンジに水道水を充填し、電子天秤A&D社製EK200iにて各シリンジサイズ別に1mL/h投与群、2mL/h投与群、3mL/h投与群、4mL/h投与群、5mL/h投与群に分けて120分間の注入量を測定した。計測にはA&D社製ソフトWinCT<sup>®</sup>を使用し、1秒間隔の注入量を自動記録した。また120分間の投与時間を、投与60分未満群と投与60分以降群の2群に分けて評価した。統計学的分析はt検定にて行いP<0.05を有意差ありとした。

## 結 果

投与60分未満群での1mL/h投与群では、総注入量誤差率5mLシリンジ-6.5%、10mLシリンジ-8.5%、20mLシリンジ-11.5%、30mLシリンジ-13.8%、50mLシリンジ-16.4%となり、大容量シリンジで総注入量誤差率は有意に増加した。また、2mL/h投与群、3mL/h投与群、4mL/h投与群、5mL/h投与群においても1mL/h投与群と同様にシリンジサイズが大きくなるほど総注入量誤差率は有意に増加した。また、各シリンジサイズ

で高流量設定に比して、低流量設定で総注入量誤差は有意に増加した。(表1)

投与60分以降群での1mL/h投与群では、5mLシリンジ-2.3%、10mLシリンジ-2.6%、20mLシリンジ-2.5%、30mLシリンジ-2.8%、50mLシリンジ-3.3%となり、投与60分未満群と同様にシリンジサイズが大きくなるほど総注入量誤差率は増加する傾向にあったが、統計学的有意差は認めなかった。2mL/h投与群以降の流量群でも同様に、シリンジサイズ間での総注入量誤差率に有意差は認めなかった。(表2)

設定流量到達時間では、1mL/h投与群で5mLシリンジ7.35分、10mLシリンジ10.04分、20mLシリンジ13.4分、30mLシリンジ18.4分、50mLシリンジ28.55分となり、シリンジサイズが大きくなるほど設定流量到達時間は延長した。2mL/h投与群、3mL/h投与群、4mL/h投与群、5mL/h投与群の設定流量到達時間においてもシリンジサイズが大きくなるほど到達時間は有意に延長した。(表3)

## 考 察

シリンジポンプで用いられるピストンシリンダ方式では、駆動モーターに送りねじが噛み合っ動作するため脈流の発生が少なく、低流量領域でも流量精度が安定しているとされるが、<sup>3)</sup>流量特性はシリンジと相関性があり注意を喚起している<sup>4)</sup>。前回行った「シリンジポンプの使

表3 設定流量到達時間

Terumo Syringe (n=10)

設定流量 到達時間 (min)	Syringe SIZE FLOW RATE	5mL	10mL	20mL	30mL	50mL
	1mL/h		7.35 ± 3.09**	10.04 ± 3.38	13.40 ± 1.84	18.40 ± 3.31
2mL/h		3.35 ± 1.10**	6.80 ± 3.16	8.30 ± 2.17	9.95 ± 2.42	16.60 ± 1.95
3mL/h		2.95 ± 0.61**	3.25 ± 0.93	6.95 ± 0.69	5.85 ± 1.18	11.30 ± 2.20
4mL/h		2.90 ± 1.04**	2.95 ± 0.88	5.00 ± 1.28	5.55 ± 0.93	8.15 ± 1.19
5mL/h		2.45 ± 0.91**	1.90 ± 0.44	4.70 ± 1.21	5.20 ± 1.14	6.75 ± 1.86

平均値 ± 標準偏差

\*\*VS 50mL syringe (P<0.05)

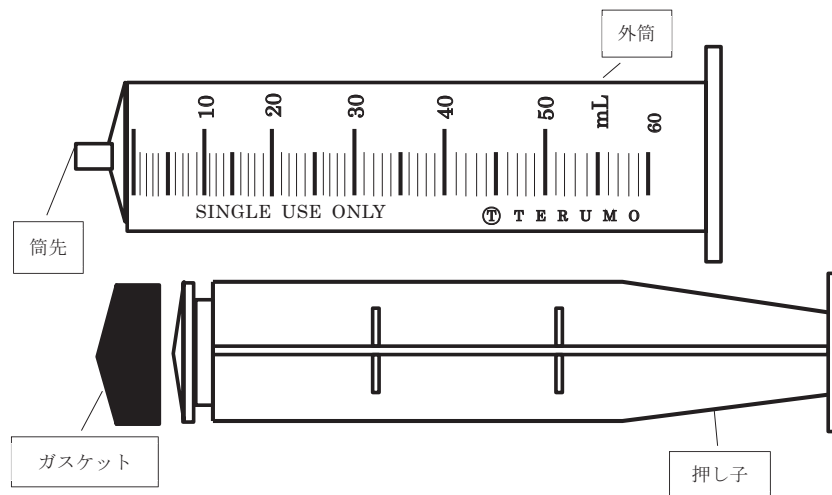


図1 TERUMO ディスポーザブルシリンジ 50mL 構造図

用条件が注入量に及ぼす影響の検証」では、シリンジサイズと投与流量が注入量誤差に影響を及ぼすことが明らかとなった。通常シリンジポンプで使用するディスポーザブルシリンジの構造は、外側の外筒部分と内側の押し子及びガスケット部分で構成されており、このガスケット部分と外筒内側の接触面で生じる摺動抵抗が、脈動を発生させる原因となる。(図1)

ガスケット部分には、薬剤をシリンジで吸引する際の抵抗を減らすためにシリコンオイルが塗布されているが、シリンジポンプで精密投与を行う場合に、シリコンオイルの潤滑作用が摺動性能を変化させる因子となり、特に低流量領域で流量精度安定性に支障を来す可能性がある。今回の結果では、全てのシリンジサイズにおいて投与120分間の総注入量誤差は高流量設定に比して低流量設定で増加した。この投与120分間を、投与60分未満群と投与60分以降群の2群に分けると、総注入量誤差は投与60分以降群に比して投与60分未満群で有意に増加した。これはシリンジポンプの代表的な流量特性であるスタートアップカーブ特性で、投与開始直後の流量精度不良による誤差値の増加と考えられ、特に低流量設定ほど流量安定までに時間を要するため、投与60分未満群の低

流量投与群で誤差値が大きい結果となった。投与60分以降群ではすべての投与流量群で流量安定期となり、誤差値は有意に減少したと考えられる。スタートアップカーブ特性の投与流量による変化については取扱説明書等に明記されているが、同じ投与流量でシリンジサイズが異なった場合の変化については知られていない。また各メーカーシリンジポンプ取扱説明書では、シリンジを含む流量精度は±3%とされているが開始60分以降の精度とされており、投与開始60分未満の流量精度については明記されていない。しかし、実際の臨床では循環作動薬などの薬剤は、投与開始直後から薬剤管理上できる限り精密な投与が望まれ、シリンジポンプ投与開始60分未満の流量特性を知ることは患者管理において非常に有用となる。今回、投与開始60分以降群では機器取扱説明書に記載してある流量精度を保つことができ、また各投与流量群でシリンジサイズによる流量精度に有意差は認めなかった。しかし、投与60分未満群においては、各投与流量群でシリンジサイズが大きくなると有意に誤差は増加した。これはスタートアップ特性に加えてシリンジガスケット部分における摺動抵抗特性が大きく関与していると考えられる。シリンジポンプで薬液を送り出すため

表4 TERUMO シリンジサイズ比較表

Terumo Syringe				
Syringe Size	内径 (mm)	円面積 (cm <sup>2</sup> )	1mmあたりの容量 (mL)	1mLあたりの長さ (mm)
5mL	13	1.32732	0.133	7.246
10mL	15.8	1.96067	0.196	5.102
20mL	20.15	3.18889	0.319	3.135
30mL	23.1	4.19096	0.419	2.387
50mL	29.1	6.65083	0.665	1.504

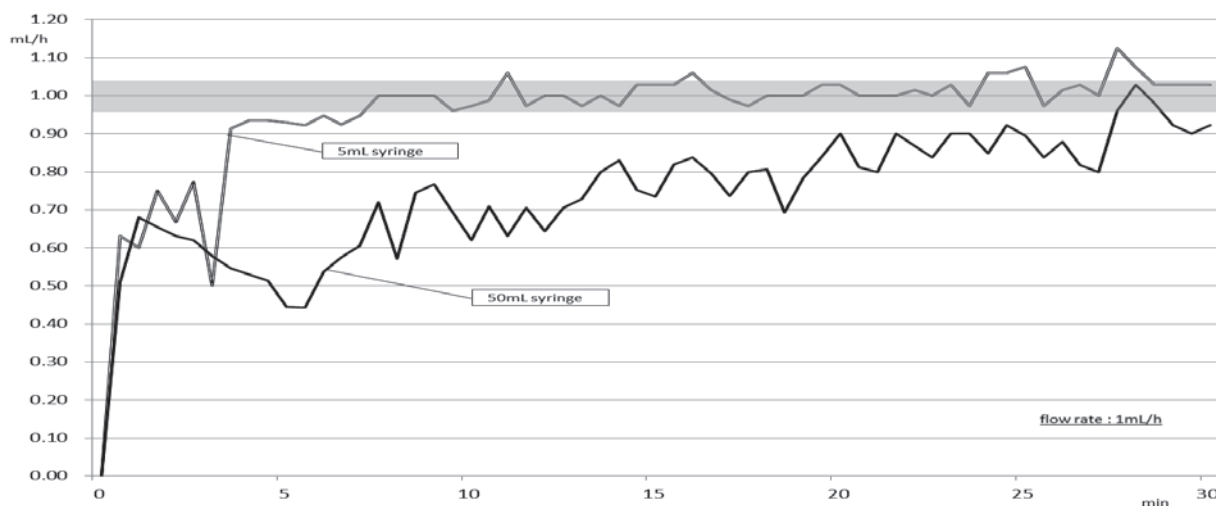


図2 Startup curve (n=10) flow rate: 1mL/h

に必要な押し子の移動距離は、シリンジサイズが大きくなるほど短くなる。(表4) 50mLシリンジでは、1mLを送り出すために必要な押し子移動距離が約1.5mmに対して、5mLシリンジでは7.2mmとなり、短い押し子の移動距離で同量の容積を送り出す大容量シリンジのほうが低容量シリンジに比して、投与開始直後からガスケット部分と外筒内側に生じる摺動抵抗の影響をより大きく受けることが考えられる。並河ら<sup>5)</sup>の研究では、シリンジサイズが大きいくほど、また、注入量が少ないほど注入精度及び脈動の変化に大きく影響したと報告している。松井らの報告では、シリンジポンプによる脈流はシリンジポンプ本体の影響ではなく、ディスポーザブルシリンジの影響が大きいとしている。1mL/h投与群スタートアップカーブ(図2)と5mL/h投与群スタートアップカーブ(図3)を比較すると、流量精度安定までの時間は1mL/h投与群に比して5mL/h投与群で安定は速く、どちらの流量群においても50mLシリンジは、5mLシリンジに比して安定に時間を要した。また、スタートアップカーブを設定流量到達時間で表すと、1mL/h投与群では5mLシリンジの設定流量到達時間が7.35分に対して、50mLシリンジでは28.55分となり約3.9倍の時間を要した。5mL/h投与群では、5mLシリンジの設定流量到達時間が2.45分に対して、50mLシリンジでは6.75分となり約2.7倍となった。(表3)このことからガスケット部分に

おけ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く、特に投与開始初期の流量精度に大きく関与していることが明らかとなった。また、脈動の指標となるトランペットカーブは、取扱説明書では投与開始60分以降の1時間のデータを表している。今回、投与60分未満投与群の計測結果でトランペットカーブを作成すると、脈動評価を表す短時間観測ウィンドウ領域での誤差幅は5mLシリンジに比して50mLシリンジで有意に大きくなり、小容量シリンジに比して大容量シリンジで脈動が大きいことが示唆された。(図4)この脈動の原因については、シリンジ内部の摺動抵抗が影響していると考えられ、特にガスケットのゴム部分に塗布されたシリコンオイルは、ガスケットの一定な動きを阻害する因子となっている可能性がある。臨床でシリンジ摺動抵抗特性が患者管理に支障を来す例としては、高濃度カテコラミン製剤のシリンジ交換がある。高濃度カテコラミン製剤は僅かな流量低下で循環動態を大きく変動させるため、交換時の流量低下を最小限にするように各施設で様々な交換方法を実践している。その中で近年多くの施設で実践している方法が、患者接続30分前からシリンジポンプに薬剤をセットし、未接続のまま空流させた後にルート接続するシリンジ交換方法がある。今回の設定流量到達時間やスタートアップカーブ特性から考えると、1mL/h以上の投与流量であれば交換時の流量低下に



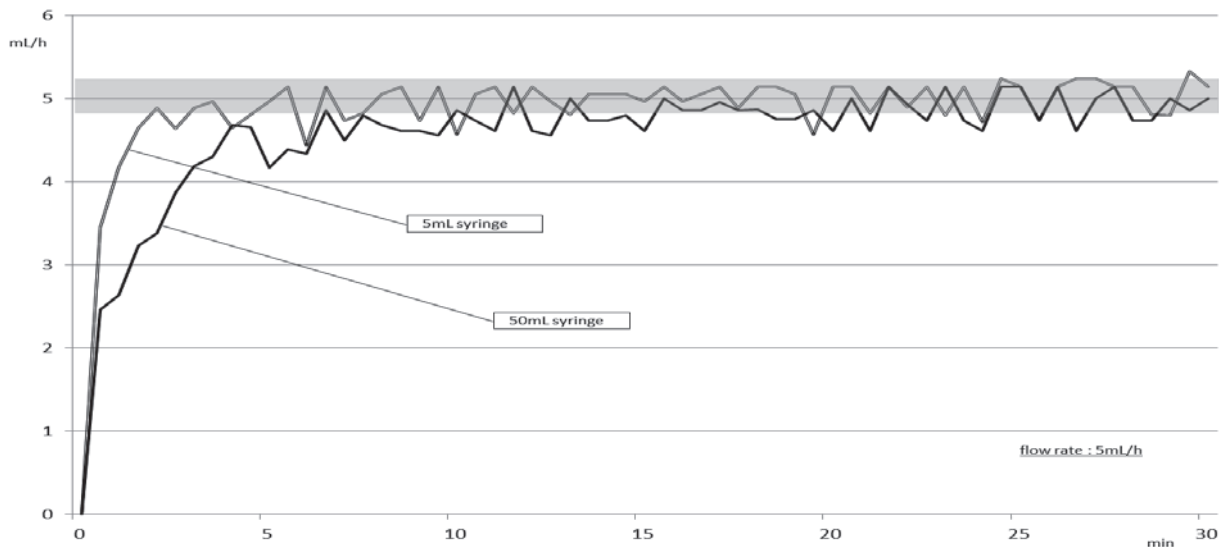


図3 Startup curve (n=10) flow rate: 5mL/h

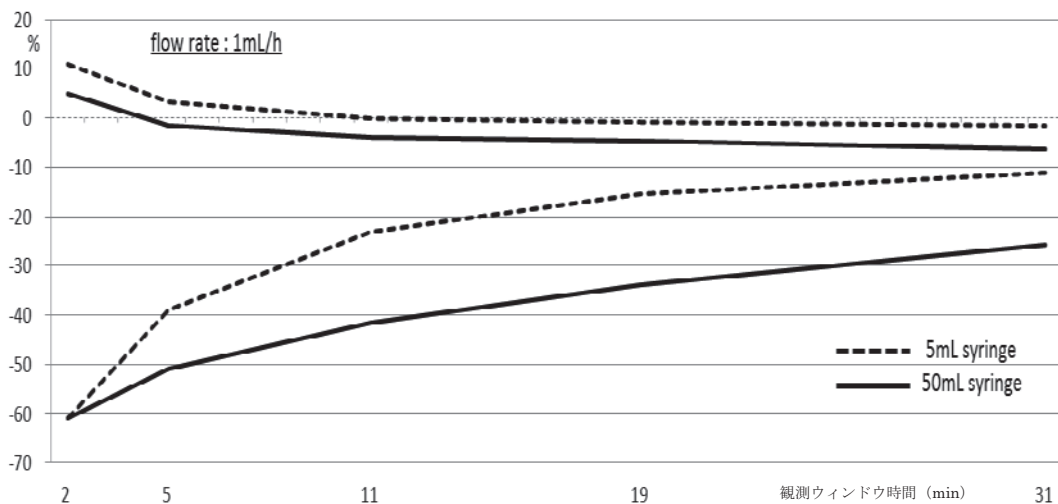


図4 0~60min Trumpet curve (n=10) flow rate: 1mL/h

対して大容量シリンジでも非常に有効な交換方法だと考える。しかし、今回の検証は TERUMO 社製シリンジポンプの摺動抵抗特性であり、他メーカーのディスプレイシリンジではシリンジ構造やシリコンオイル塗布量、ガスケット部分の構造等の違いがあるため、TERUMO 社製ディスプレイシリンジとは異なった摺動抵抗特性が考えられるので注意が必要である。今回の結果からシリンジポンプ流量精度には、ディスプレイシリンジの摺動抵抗特性が大きく関与しており、精密管理を要する薬剤では、シリンジポンプの一般的な流量特性に加えて、ディスプレイシリンジ摺動抵抗特性を理解して薬剤管理を行うことが、急性期領域での患者管理には有用であると考えられる。

### 結 語

今回、ディスプレイ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を行った。TERUMO 社製シリンジポンプでの投与開始初期における流量精度は、シリンジサイズ及び投与流量に大きく影響を受けることが明らかとなった。大容量シリンジを用いて低流量で精密管理が必要な薬剤投与を行う場合は、投与開始 60 分未満の流量精度には注意が必要である。

利益相反：利益相反基準に該当無し

### 文 献

- 1) TERUMO：テルモフュージョン<sup>®</sup>シリンジポンプ 35 型、取扱説明書。東京，2009，pp 46.
- 2) 吉田浩二：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誌 63 (1)：31—35，2014.
- 3) 日本生体医工学会監修：「第 1 種 ME 技術実力検定試験」講習会テキスト。改訂第 2 版。東京，第 1 種 ME 技術実力検定試験講習会テキスト作成委員会，2009，pp 409.

- 4) TERUMO：シリンジポンプ TE-331S・TE-332S 取扱説明書. 東京, 2010, pp 43—45.
- 5) 並河孝次：シリンジ方式輸液ポンプにおけるディスポーザブルシリンジの摺動性に関する検討. 医療機器学 73 (4)：2003.
- 6) 松井 晃：シリンジポンプによる脈流に関する検討. 日本未熟児新生児学会雑誌 12 (3)：405, 2000.
- 7) 吉田浩二：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誌

59 (4)：189—192, 2011.

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, Japan Organization of Occupational Health and Safety, Nagasaki Rosai Hospital, 2-12-5, Setogoshi, Sasebo-shi, Nagasaki, 857-0134, Japan

## Verification of the Effects of Disposable Syringe Sliding Friction on Syringe Pump Flow Rate Precision

Koji Yoshida<sup>1)</sup>, Yoshiaki Terao<sup>1)2)</sup> and Makoto Fukusaki<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Division of Medical Engineering, Japan Organization of Occupational Health and Safety, Nagasaki Rosai Hospital

<sup>2)</sup>Department of Anesthesia, Japan Organization of Occupational Health and Safety, Nagasaki Rosai Hospital

In disposable syringe structure, the size and form of the gasket part varies depending on the syringe size, and thus when administering medication with a syringe pump, even if the administration flow rate is the same, there are differences in the sliding friction characteristic at the gasket part, and this may have an effect on precise management. This study verified the effect which sliding friction of a disposable syringe has on syringe pump flow rate precision. The syringe pump TE-351<sup>®</sup> made by TERUMO was used as the equipment, and disposal syringes made by TERUMO were used as the materials. In the measurement method, the disposable syringes were filled with tap water, and the injection volume for 120 minutes was measured for each syringe size using the EK200i electronic scale made by A&D. In terms of the error rate of total injection volume in each administration flow rate group, error increased significantly with a large-capacity syringe compared to a small capacity syringe in the group with less than 60 minutes of administration. Also, error in the total injection volume increased with a low flow rate setting compared to a high flow rate setting for all syringe sizes. In the group with 60 minutes or more of administration, the error rate of total injection volume dropped significantly in all administration flow rate groups compared to the group with less than 60 minutes of administration. Also, when considered by administration flow rate, there was a significant increase in error with low flow rate administration, just like the group with less than 60 minutes of administration, but no significant difference in error values was evident between syringe sizes. In terms of the set flow rate attainment time, the time lengthened with larger syringe sizes. This showed that, with disposable syringes made by TERUMO, the effects of sliding friction increase with large-capacity syringes and low flow rate administration, and this plays a major role in flow rate precision, particularly at the start of administration. When administering medication that requires precise management, care must be taken regarding the sliding friction characteristics of the disposable syringe.

(JJOMT, 65: 96—101, 2017)

—Key words—

syringe pump, infusion volume error, slide resistance