

原 著

輸液ライン中の気泡発生抑制法に関する研究

太田克矢¹⁾, 内山千恵美¹⁾, 久保佑佳¹⁾, 田村有紀¹⁾, 杉浦佳代¹⁾,
飛弾浩一¹⁾, 竹内幸江¹⁾, 那須裕¹⁾

【要 旨】 輸液ライン中には気泡の発生が度々観察される。この気泡の発生を抑制することができれば、気泡除去に要する時間の短縮、これによる看護業務量の軽減、さらには気泡検出のアラーム音による患者の不安も軽減されることが予測される。そこで本研究では、「輸液ライン中に観察される気泡の発生を予防すること」を試みた。この結果、輸液ボトルを32℃の気相シェイキングで処理すると輸液ライン中の気泡発生を最も抑制した。この処理は、生食以外の薬液を使用した場合でも同様の効果が得られた。

【キーワード】 輸液, 気泡, 抑制, シェイキング

I. 序 論

輸液は、医療現場で最もよく行われる治療法の一つであり、その主たる管理業務を看護師が担っている。また、輸液管理における留意点は輸液速度と量、刺入部の観察ならびに薬剤の副作用の観察等に大別できる。さらに、病院・病棟間で差異はあるものの、気泡発生時の気泡除去に要する時間が大きい病棟も実際に少なからず存在する。一方、輸液では10mlの気体相が身体内部に侵入しなければ致死量に達することはなく、通常の輸液で発生する気体容量（0.5～3ml程度）から考慮すると生物学的には留意する必要はない（井上, 1999）。しかしながら致死量、特にヒトでの致死量は正確に測定する術もなく、先の報告が本当に安全なのかは不明である。またこの報告が正しいとしても輸液中の気体相は血中に積極的に入れるべきものではない。更に、臨床では輸液時に輸液ポンプを使用する場合もあり、気泡発生時はアラームによる警告が鳴る。このアラーム音は患者を不安にさせ、夜中に鳴ると睡眠を妨げる原因にもなる。したがって、気泡発生を抑

制することができれば、気泡除去に要している時間を看護師が他の業務に使うことができ、患者の不安も軽減できることが期待される。しかしながら、気泡発生の抑制を詳細に検討した先行研究は「infusion」, 「suppression」, 「bubble」といった関連する用語でMEDLINEやCINAHL等のデータベースを検索し、文献検討を行っても皆無である。検索を試行していくと術後シバリングの予防としても用いられるHot Line Warmer を用いた際、ライン中に気泡の増加が見られる等の気泡の増加を報告する文献（Woon et al, 1999）がわずかに抽出されてくるだけである。

そこで、輸液ライン中の気泡発生の機序と原因を明らかにし、これに対する予防策の確立を本研究の目的とし、この論文の中で、我々は種々の気泡発生抑制方法を検討した。この結果、気泡発生の抑制のための新しい輸液ボトルの準備方法として使用直前の気相における32℃シェイキングによる処理を提案する。

¹⁾ 長野県看護大学
2008年10月11日受付
2009年 1 月27日受理

II. 研究方法

1. 使用機器と物品

輸液ポンプ (P-500, アトムメディカル株式会社), 輸液セットP型専用 (アトムメディカル株式会社, 製品コード41223), 定量輸液セットP型ポンプ専用 (アトムメディカル株式会社, 製品コード41201), 生理食塩水500ml (大塚製薬, 品番1754), ソリタ-T3号G 500ml (味の素株式会社), インキュベーターシェイカーIM400W (yamato), マイクロチューブ, マイクロピペット.

2. 実験方法

輸液セット, 輸液ポンプを用いて, 500mlの輸液ボトルから流速100ml/hで1時間滴下し, 薬液100mlあたりに発生した気泡を観察後, これを水上置換法によって集めた (図1). 集めた気泡はマイクロチューブに移し, マイクロピペットを用いて気泡発生量を測定した. また, 実験は室温25℃, 湿度50~60%に保って行った. 全ての実験は各々複数回試行し平均値を求め, これらの標準誤差を示した.

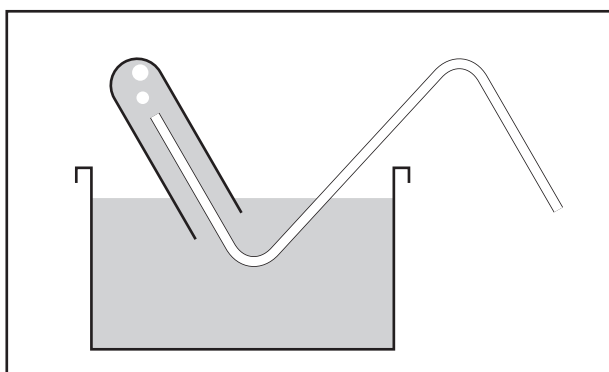


図1. 水上置換法

1) 気泡発生条件の確立と現行手技手順による気泡発生量の測定

気泡発生条件を検証するため, 4℃の冷蔵庫で生理食塩水 (以下生食と略) ボトルを保存後, 室温で1時間放置し (現在臨床で行われている標準的な手順, 以下これを現行手技手順とする), 輸液操作を行った. この際, 冷蔵日数を1日, 2日, 3日, 5日, 7日間に設定し, 各保存期間での気泡発生量を比較した.

ここでの気泡発生量を標準気泡発生量とし, 以下で行う気泡発生抑制実験のコントロールとして用いた.

2) 気泡発生の抑制方法

輸液ライン中での気泡発生を抑制するには, 輸液ボトル使用時にボトル内液と室温との温度差を小さくし, 生食液がラインに入る前に「液相にある溶存分子をボトル内の気相に気化させる必要」があると考えた. そのため, 以下の4つの操作を冷蔵保存後の生食ボトルに実施し比較検討した.

(1) 32℃の気相に放置

室温より高い気相 (この実験においては32℃に設定した気相とする) に生食ボトルを1時間放置し, 標準気泡発生量と比較した.

(2) 32℃で湯浴

32℃の水相中に生食ボトルを1時間浸け (図2), 標準気泡発生量と比較した.

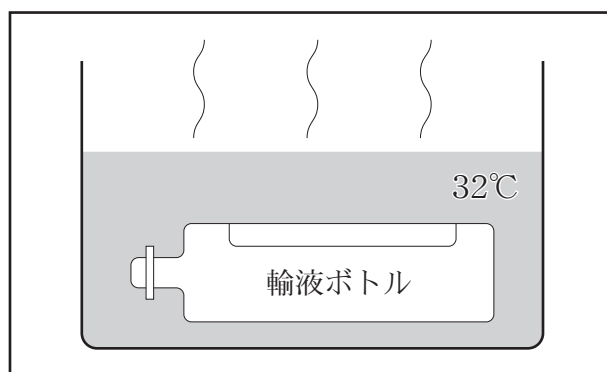


図2. 湯浴

(3) 気相室温シェイキング及び(4)気相32℃シェイキング

室温と32℃の気相で1時間シェイキングを行い, 標準気泡発生量と比較した. 32℃シェイキングはインキュベーターシェイカーを用い, 回転数150rpmで1時間シェイキングした.

3) 生食以外の輸液ボトルに対する気泡発生抑制手順の効果

5日間冷蔵保存したソリタ-T3号G (以下ソリタと

略)を用い、室温放置・32℃放置・32℃湯浴・気相室温シェイキング・気相32℃シェイキングの前処理を各々1時間検討した。この結果と5日間冷蔵保存し、各々の前処理を行った生食からの気泡発生量との違いを比較し、気泡発生の抑制に効果的な方法について検証した。

4) 定量輸液セットに対する気泡発生抑制手順の効果

この実験では5日間冷蔵保存した生食を用いて、各々1時間、室温放置・32℃放置・32℃湯浴・室温シェイキング・32℃シェイキングを検討した。そして定量輸液セットと通常の輸液セットを使用した場合との気泡発生量の違いを比較し、気泡発生の抑制に効果的な方法について検証した。

Ⅲ. 結果および考察

輸液ライン、特にペリスタ型ポンプを用いた静脈点滴における気泡の発生要因の候補には(Ⅱ)輸液保存温度と輸液時室温との温度差による溶存分子の気化(井上, 2007), (Ⅲ)ペリスタポンプ圧からのエネルギー供与による溶存分子の気化(Hannemann et al., 1973), (Ⅳ)輸液溶液の種別による気化エネルギーの差(島津製作所 分析計測事業部, 2007)ならびに(Ⅴ)定量輸液セットの使用による気体分子の溶存化が考えられる。(Ⅴ)は薬液を勢い良く点滴筒に満たすと気泡を取り込みやすく、気泡が発生しやすくなるのではないかと考えたためである。

また(Ⅱ)について、最近では多くの病院で輸液の無菌調整が実施されるようになり、冷蔵庫内で保存する場合が多くなっている(井上, 2007)。

1. 気泡発生条件の確立と現行手技手順による標準気泡発生量の測定

気泡発生の様相を確認するため購入直後の生食を滴下したところ、気泡の発生量にばらつきがあった。この現象は著者らが臨床現場で観察している気泡の発生のばらつきと一致した。このばらつきの原因には、病院へ納入されるまでの輸液ボトルの保存状態や輸送過程、病院到着後の保存状態などが多様であることが考

えられる。しかしながら、本研究を遂行するためには一定量の気泡を発生させ、気泡発生抑制処理の効果を検討する必要がある。この為、気泡を一定量に発生させる条件の確立が必要となった。そこで発生要因の候補(Ⅱ)からヒントを得て、生食ボトルを4℃に冷蔵保存し、現在の臨床において一般的な手技手順の一つである「使用直前にボトルを室温で1時間放置」してから使用したところ、コンスタントな気泡の発生を確認した(写真1)。すなわち、これは輸液ボトル使用時にボトル内液と室温との温度差により、気泡が発生したと考えられる。したがって冷蔵保存することにより一定量の気泡を発生させられる可能性が示された。



写真1. 輸液ライン中の気泡（1時間室温放置）

一方、複数の総合病院における輸液ボトルの消耗サイクル日数(ボトルが病院到着後、実際に使用に至るまでの期間)を調査したところ、3日間から7日間であった。従って、実験室での生食ボトルの保存日数を1日から7日までとして検証すれば、実際の臨床現場での保存期間に近く、臨床での有効性がより高いと考えられた。そこで、まず初めに生食ボトルの冷蔵保存日数と現行手技手順における基準気泡発生量との相関性を調べる為、冷蔵保存日数を1日から7日までに設定し実験を行った。

この結果、輸液ライン中の気泡発生量は冷蔵日数1日で99 μ l, 2日で200 μ l, 3日で217 μ l, 5日で262 μ l, 7日で356 μ lとなり、冷蔵保存日数依存的に増大していくことが明らかとなった(図3)。

一般的に気泡発生を抑制するには、薬液温度を室温に戻してから使用すると良いと述べられている(村岡, 2006)。そこで、この室温に近付けるという着眼点と、これより更に温度の高い32℃で加温することに着目し、本実験で確立した気泡発生条件を用いて、次の気泡発生の抑制方法を検討した。また、この32℃の温度は、室温と体温のほぼ中間値であり、加温処理により輸液温度が32℃に達したと仮定しても、体内で薬

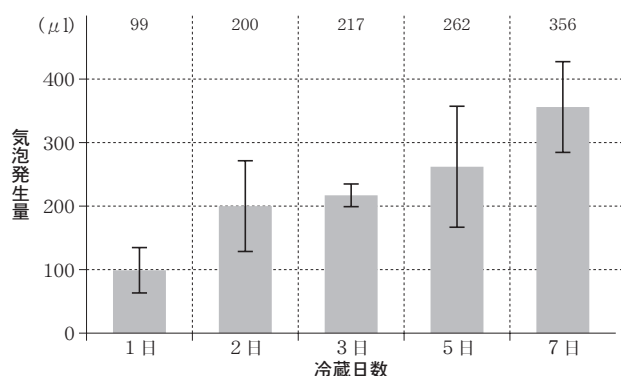


図3. 冷蔵日数による気泡発生量の変化
(1時間室温放置)

理作用を発揮する輸液薬剤ならば一般的に安定である可能性が高いと考えて選定した。さらに本実験で使用した機器を含め、一般的に冷却機能を有しない加温機器の場合、室温の条件にもよるが32℃より低い温度を一定に維持するのは困難である。これは室温が高い場合や機器の作動による発熱で設定温度よりも高くなると考えられる。冷却機能を有する機器は一般的にコストが高くなる傾向にあり、本実験では32℃で行うこととした。

2. 気泡発生抑制方法

1) 32℃の気相に放置

1時間放置した結果、輸液ライン中の気泡発生量は冷蔵日数1日で82 μl、2日で217 μl、3日で238 μl、5日で303 μl、7日で215 μlであり、7日間冷蔵保存した場合のみ、気泡の発生に部分的な抑制効果が見ら

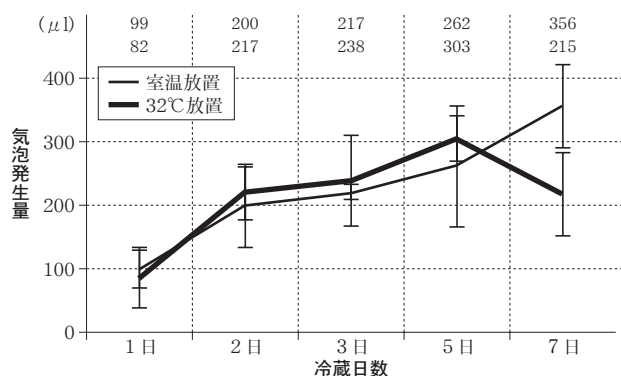


図4. 冷蔵保存されたボトルを室温放置処理と32℃放置処理した場合の気泡発生量の比較

れた(図4)。しかし、他の冷蔵保存日数においては気泡発生抑制効果は見られなかった。本研究の目的を達するには、いずれの冷蔵保存日数においても気泡の発生を抑制することが望ましい。したがって、「32℃気相に1時間放置」する処理よりも効果的な別法を検討した。

2) 32℃湯浴

液相の方がボトル内液への熱伝導性が高いと考え、32℃で1時間湯浴した。この結果、輸液ライン中の気泡発生量は冷蔵日数1日で20 μl、2日で47 μl、3日で41 μl、5日で26 μl、7日で49 μlとなり、いずれの冷蔵保存日数においても気泡発生が抑制された(図5)。したがって、32℃気相に1時間放置する方法よりも相当量の気泡発生抑制効果が認められた。また「熱の伝導性が促進されれば抑制効果が現れる」という我々の仮説を裏付ける結果となった。

しかしながら、湯浴という方法には、2つの大きな問題点が挙げられる。まず第1に、この方法では輸液ボトルを細菌繁殖の機会が多い水相の中に入れる為、ボトル刺入部からの感染の危険性がある。第2に、輸液ボトルのラベルは湯浴に対応していないため、ラベルが遊離しやすい状態になった(写真2)。ラベルが遊離することにより薬液名が不明になり、誤薬の危険性にもつながる。したがって、32℃湯浴による処理は、



写真2. 遊離したラベル(32℃湯浴)

気泡発生を抑制できるものの安全面での課題がある。そこで、32℃湯浴における「熱の伝導性向上による気泡発生抑制効果」を気相で実現・応用するため、次のシェイキング法を試みた。

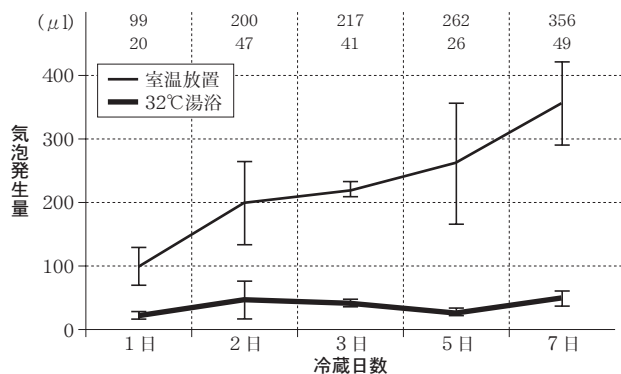


図5. 冷蔵保存されたボトルを室温放置処理と32℃湯浴処理した場合の気泡発生量の比較

3) 室温シェイキング及び4)32℃シェイキング

生食ボトルを振ることで薬液温度が外気温度に速く近付き、ボトル液相内の「気泡となる分子(溶存分子)」が取り除かれるのではないかと考え、室温と32℃でシェイキング処理を行った。この結果、室温シェイキング処理での輸液ライン中の気泡発生量は冷蔵日数1日で26μl、2日で45μl、3日で24μl、5日で47μl、7日で37μlであり、また32℃シェイキング処理では、冷蔵日数1日で1μl以下、2日で3μl、3日で6μl、5日で1μl以下、7日で5μlとなった(図6)。このように、シェイキング処理ではいずれの冷蔵保存日数においても著しい気泡発生の抑制効果が観察された(写真3)。また、室温シェイキングと32℃シェイキング処理の比較では、32℃シェイキングの方が、より効果的に気泡発生を抑制することがわかった。

この効果の機序としては、シェイキング処理するこ

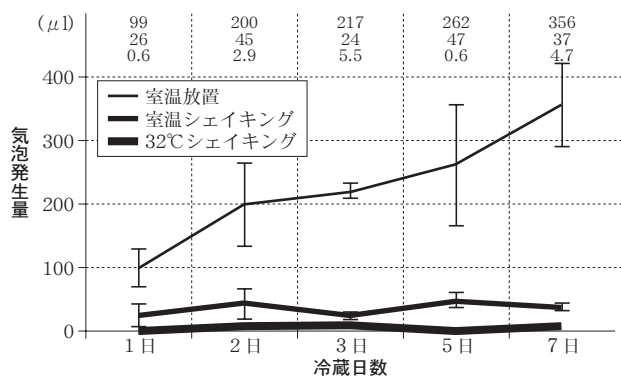


図6. 冷蔵保存されたボトルを室温放置処理とシェイキング(室温・32℃)処理した場合の気泡発生量の比較

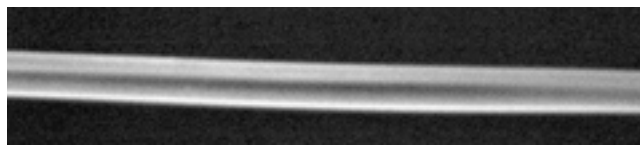


写真3. 輸液ライン中の気泡(32℃シェイキング)

とによって生食液中の分子の運動が盛んになり、溶存気体がボトル内の気相中へ気化していることが考えられる。また、気化した分子が全て液相内に再溶解するには冷蔵保存しても数日を要することが標準気泡発生量の実験から容易に考えられる(結果及び考察(4)-1)。

3. 生食以外の輸液ボトルに対する気泡発生抑制手順の効果

臨床現場では輸液に生食以外の様々な薬液を用いている。そこで最も一般的な維持液の一つであるソリタ(4℃で5日間冷蔵)を用いて、他の薬液に対する各々の気泡発生抑制手順の効果を検討した。この際、冷蔵保存日数は輸液ボトルの消耗サイクルの平均日数である5日間を用いた。

この結果、輸液ライン中の気泡発生量は室温1時間放置で244μl、32℃放置で187μl、32℃湯浴で114μl、室温シェイキングで5.1μl、32℃シェイキングで1μl以下であった(図7)。ソリタに対して各々の気泡発生抑制手順を用いても生食と同様(図8)な結果が得られ、32℃シェイキングの手順は気泡発生の抑制に著しく効果的であることがわかった。

気泡の発生要因の候補として輸液溶液の種別による気化エネルギーの差を述べたが、今回のソリタの実験結果を考慮すると、気泡発生量は生食以外の薬液の場

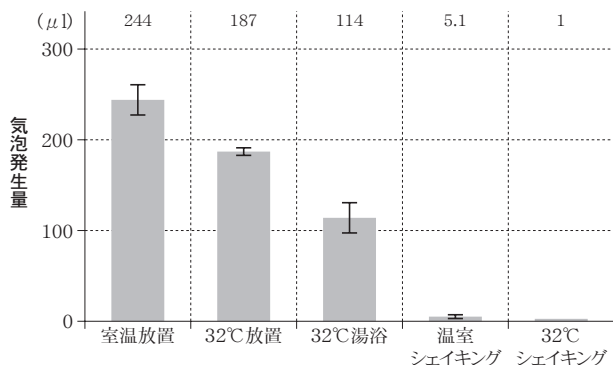


図7. 処理方法別気泡発生量の比較(ソリタ)

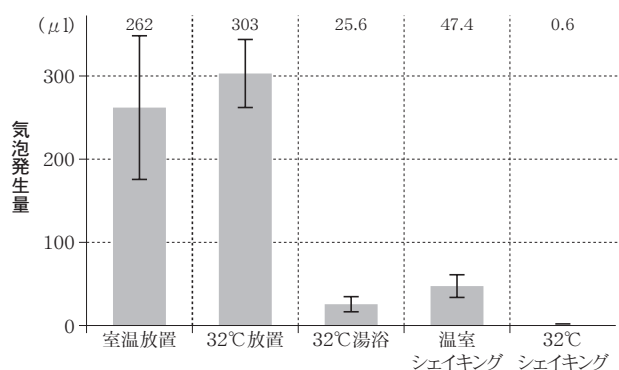


図8 処理方法別気泡発生量の比較(生食)

合もほとんど変わらない可能性も高く、32℃シェイキング処理による気泡発生抑制手順は著しく効果的であることが示唆された。これは輸液の溶媒の殆どが水であることと密接に関係していることが予測され、この為、多くの薬液に対して同様の効果が期待できることが強く予想された。

4. 定量輸液セットに対する気泡発生抑制手順の効果

定量輸液セットを用いて実験した結果、輸液ライン中の気泡発生量は室温放置で235 μl、32℃放置で209 μl、32℃湯浴で27.1 μl、室温シェイキングで24 μl、32℃シェイキングで5 μl以下であった (図9)。定量輸液セットを用いても輸液セットと同様に、32℃シェイキング処理が気泡発生の抑制に効果的であることがわかった (図8)。

気泡の発生要因の一つとして定量輸液セットの使用を考えたが、今回の実験では定量輸液セットを使用しても、気泡発生量の著しい増加はみられず、気泡の発

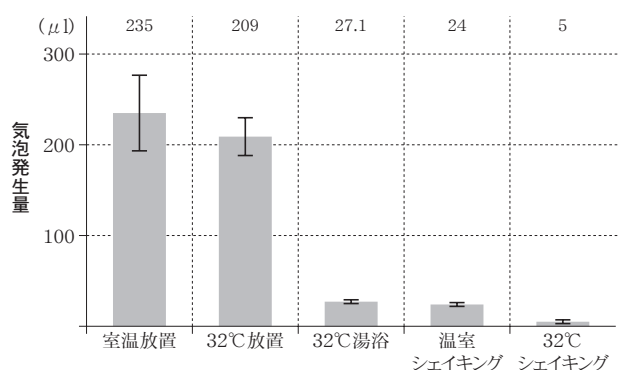


図9 定量輸液セット使用による処理方法別気泡発生量の比較

生の要因ではないと考えられた。むしろシェイキングで効果があった点を考慮すると、ドリップチャンバー内で薬液を強く落下させ溶存の気体を運動させることにより、気体分子の薬液からの脱気が期待できるかもしれない。これらから推察するに、大型点滴筒のようなものをドリップチャンバーの代わりに使用すれば、気泡発生を抑制できるのではないかと考えられ、今後の検討を要する。

5. シェイキングに要する機器ならびに時間のコストについて

本実験では「室温以上に輸液ボトルを加温し、これに振動を加えること」で輸液ライン中に発生する気泡を抑制できる手順の原法と概念を提唱した。したがって機器ならびに時間的コストへの課題はまだ大きい。

シェイキングする為に使用した機器は細菌用の気相振とう培養装置であり、1台で6～8本の輸液ボトルを同時に処理できる。しかしながら現在の価格で1台当たり90万円前後であり、低コストの専用機器の開発が望まれる。提案する手法が普及すれば細菌培養装置よりも需要が多く見込まれることと、方法論の改変による必要機器の種別変更により今後のコスト低下は容易に見込まれる。

一方、時間的コストについては、方法論の改変ならびに院内での役割分担が強く望まれる。本研究は冷蔵保存している（気泡が発生しやすい条件）にもかかわらず、提案する原法によりこの条件下でも気泡を抑制できている。これは何らかの要因で低温保存されてしまったボトル（例えば北海道内の輸送など）にも32℃シェイキング処理方法が適用でき、この処理の汎用性の高さを示している。しかしながら多くの病院の室温は25℃に近いことが予想される。今後、これを考慮した上でシェイキング処理時間の短縮に必要なデーターを詳細に算出していくことが必要である。我々が行った予備的な実験では、通常の実験の室温保管で約10分程度のシェイキング時間が見込まれている。また、院内の役割分担についても重要になってくる。一般病院のボトル液相内に溶存する気体分子は、製造過程から薬剤部までの保管状態に起因する可能性がある。したがって使用開始予定の明瞭な輸液ボトル

に関しては薬剤部に抑制処理をオーダーしておくことが望ましい。

IV. 結 論

今回の実験により、いずれの冷蔵保存日数においても1時間32℃シェイキングが気泡発生の抑制に著しい効果があることがわかった。また、この方法の改良と薬剤等に対する検討が進めば、臨床現場での応用ならびに普及により、気泡除去に要する看護業務軽減の可能性が強く示唆された。

V. 謝 辞

実験にあたり物品等をお貸し頂いた 長野県看護大学 基礎看護学講座の原田慶子先生、ならびに貴重なご意見を頂いた同講座の中村恵先生に深く感謝申し上げます。

文 献

- Hannemann R.E., Barile R.G.(1973) : Bubble Formation in the Roller Infusion Pump, American journal of diseases of children, 125(5),706-708.
- 井上善文(1999)：輸液の時の気泡，気にしすぎている
せんか？, Expert Nurse, 15(14),50-54.
- 井上善文(2007)：大変だ！輸液ラインの中に空気が入
っている！, Expert Nurse, 23(2),76-81.
- 村岡宏子(2006)：早引き 注射・輸液基礎辞典，ナツ
メ社，東京。
- 島津製作所 分析計測事業部:移動相の脱気-気泡発生
のメカニズム-, (2007.12.6)
[http://www.an.shimadzu.co.jp/support/lib/
lctalk/s5/021.htm](http://www.an.shimadzu.co.jp/support/lib/lctalk/s5/021.htm)
- Woon S., Talke P. (1999):Amount of air infused to
patient increases as fluid flow rates decrease
when using the Hotline HL-90 fluid warmer,
Journal of Clinical Monitoring and Computing,
15(3-4),149-52.

【Original Article】

Suppression method for the bubble formation in the infusion line

Katsuya Ota¹⁾, Chiemi Uchiyama¹⁾, Yuka Kubo¹⁾,
Yuki Tamura¹⁾, Kayo Sugiura¹⁾, Kouichi Hida¹⁾,
Sachie Takeuchi¹⁾, Yutaka Nasu¹⁾

¹⁾ Nagano College of Nursing

【Abstract】 The generation of the bubble is frequently observed in the infusion. If we can control to the generation of the bubbles, it is possible to reduce the time and the working amount for the removal of the bubble and also the patients' uneasiness by the alarm sound from the bubble detection. In this work, we tried to find the preventive condition for the generation of the bubble observed in the fusion line. As a result, it was found to be the most effective for the suppression of the bubble formation to shake the bottle of physiologic saline solution in the gas phase at 32°C for 1hour. This treatment will be available for other kinds of liquid bottles.

Key words: infusion, bubble, suppression, shaking

太田克矢
〒399-4117 駒ヶ根市赤穂1694
TEL&FAX : 0265-81-5137
Katsuya Ota
Nagano College of Nursing
1694 Akaho, Komagane, 399-4117 Japan
e-mail: katsuyaota@nagano-nurs.ac.jp