

医療的ケア児が利用する携帯型吸引器 「陰圧フラッシュ機能」の開発と基礎的検討

杏林大学 保健学部 臨床工学科
蛭本 雅史, 横山 瑞穂, 山本 華乃子

【要旨】

喀痰吸引において、1本の吸引カテーテルを1日に何度も使用する小児在宅医療の現場ではカテーテル孔の閉塞と洗浄が手技時間の増加を招いている。そこで一時的に大きい陰圧をかけ喀痰の閉塞を解消する「陰圧フラッシュ機能」を考案し試作機を製作した。粘稠度の異なる模擬喀痰を作成し、成人用および小児用カテーテルを用いて洗浄作業での閉塞解消時間を測定することで有効性の検証と安全対策についても検討を実施した。

1. 研究目的

医療的ケア児とは、日常生活及び社会生活を営むために恒常的に医療的ケアを受けることが不可欠な児童のことである。医療的ケア児の家族や介護者は24時間体制でケアが必要であり、中でも喀痰吸引は数分毎に行うこともあり介護者の負担は大きい。在宅用の人工呼吸器や吸引器の操作はかかりつけ病院の臨床工学技士などにより指導されているが、実際には病院と小児在宅医療でケアの方法が異なる点がある。特に、喀痰吸引用カテーテルにおいては、病院は単回使用、在宅は1日1本を繰り返し使用している場合がある。

さらに、小児在宅医療で使用する携帯型吸引器の吸引カテーテルは、成人用に比べチューブ径が小さいため喀痰がカテーテル孔の閉塞・吸引圧の低下を引き起こしている(図1)。また、閉塞を解消するために水を通した際、粘度の高い痰ほど流れにくく閉塞解消まで時間がかかり、これが手技時間の増加を招いている。

本研究では「手技時間の短縮・介護者の負担軽減」を目的として、市販の携帯型吸引器を用いて改良を行い、製作した装置の評価を行った。想定されるリスクとして気管内で大きい陰圧をかけると気管支の粘膜損傷、低酸素血症、無気肺、急性肺障害のリスクとなることが知られている。本研究はカテーテル先端が患者の気管外にある状態で使用することを条件として検討した。

2. 模擬痰の粘度測定方法

喀痰吸引の手技手順は市販の「吸引シミュレーター専用模擬痰」を用い本学看護学科教員に指導を受けた。その結果、カテーテル先端に模擬痰が残留し孔が一部閉塞していることが分かった。喀痰吸引器の孔詰まりの評価を行うにあたりこの模擬痰を使用し、溶質率[%](原液の模擬痰と水の比率)の異なる6種類の模擬痰(0%,3.23%,4.76%,9.09%,10.0%,11.1%)を作成し、粘度測定を行った。上記6種類以上に溶質率が高い模擬痰は当学科所有の回転粘度計の測定範囲を超えたため、測定可能だった希釈した模擬痰の粘度から近似式を導き、推定値を算出した¹⁾。

3. 模擬痰の粘度測定結果

粘度測定した溶質率の異なる 6 種類の実測値から導出した近似式(1)を用いて、高粘度の模擬痰の粘度を推定した。図 2 の下部にある点線矢印の範囲は実測値部分、実線矢印の範囲は推定値部分である。

$$y = 0.011x^4 - 0.2404x^3 + 1.9181x^2 - 4.2445x + 0.9733 \quad \text{式(1)}$$

図 2 から明らかなように溶質率が増加するにつれて粘度が高くなる傾向がわかった。また模擬痰原液(溶質率 100%)では粘度が約 878Pa・s であると予測された。

4. 「陰圧フラッシュ機能」の製作と評価方法

喀痰吸引カテーテルの孔詰まりを改善するために「陰圧フラッシュ機能」を開発した。これは-20kPa(「気管吸引ガイドライン 2013」²⁾で定める最大吸引圧よりも大きい陰圧(今回使用した吸引器のダイヤフラム式陰圧ポンプ能力である-66kPa)を一時的にカテーテル内に加える機能である。この実現には陰圧を調圧する減圧弁(図 3-a)を一時的に無効にするために手動弁(ノーマルオープンタイプ)を搭載した(図 3-b)。また、圧力計の位置を減圧弁の先から吸引カテーテル側へ変更した。この手動弁は、スイッチが OFF(図 3-c)の状態では開放状態であり調圧弁の調整によって圧力は-20 kPa に制御される。スイッチを ON(図 3-b)にすると調圧弁側の回路が閉鎖され、カテーテル先端と陰圧ポンプが短絡状態になることで最大-66kPa の陰圧がカテーテルにかかる。また、気管内での「陰圧フラッシュ機能」の使用を防止する安全機構として、手動弁に蓋を設置した(図 4)。

製作した「陰圧フラッシュ機能」の評価を行うべく、原液の模擬痰を用いて溶質率の 9 種類(20.0%, 25.0%, 33.3%, 50.0%, 55.6%, 62.5%, 71.4%, 83.3%, 100%)の模擬痰を作成した。カテーテルは小児用多孔式カテーテル(5Fr)と成人用多項式カテーテル(13Fr)の 2 種類を用いた。

- ・吸引手技は-20kPa の吸引圧で 10 秒間模擬痰を吸引し、気道内の吸引状態を模擬した。
- ・洗浄手技は水を吸引し、カテーテル内の詰まりが解消されるまでの時間を計測した。
- ・洗浄手技はフラッシュ機能 OFF の状態(-20kPa)と ON の状態(-66kPa)を比較した。

これらをそれぞれ 3 回行い、各溶質率における平均時間を算出し「陰圧フラッシュ機能」の評価を行った。

5. 陰圧フラッシュ機能評価結果

成人用多孔式カテーテルおよび小児用多孔式カテーテルにおける陰圧フラッシュ機能の実験結果より、成人用・小児用のどちらにおいても、すべての溶質率においてフラッシュ機能を ON にした場合、カテーテル閉塞解消までの時間が OFF の場合よりも短縮されることがわかった(図 5、図 6)。特に小児用カテーテルにおいては模擬痰原液(溶質率 100%)の場合、閉塞解消までの時間はフラッシュ OFF の場合が 300 秒、フラッシュ ON の場合が 47 秒となり、300 秒から 47 秒へと約 1/6 に短縮された。(図 6)

6. 考察と結論

喀痰吸引の手技は両手で行う中で、洗浄の際はカテーテル先端を一度気管外に取り出し洗浄ボトルに入れることとなる。「陰圧フラッシュ機能」を使用する際には必然的にカテーテル先端を保持していた手で蓋を開けて中にある手動弁のボタンを押す手順となるため介護者が気管内で「陰圧フラッシュ機能」を不用意に使用する危険性はないと考察した。今後はさらなる安全対策のため、10秒以上のフラッシュが出来ないようにする安全機構やアラーム音など吸引器のニーズに合わせて検討していきたい。

私たちの開発した「陰圧フラッシュ機能」は細い小児用カテーテルで溶質率100%（原液の模擬痰：推定 $878\text{Pa}\cdot\text{s}$ ）の模擬痰にも洗浄時間が6分の1に短縮したため、喀痰吸引の手技時間短縮・介護者の負担軽減が期待される。

文献

- 1) 佐藤尚宏, 高分子溶液の粘度に関する分子理論, 高分子論文集, 2012Vol169, No. 11, pp613-622
- 2) 中根正樹他, 日本呼吸療法医学会気管吸引ガイドライン改訂ワーキンググループ, 「気管吸引ガイドライン 2013」

指導教員：杏林大学 保健学部 臨床工学科 磯山 隆, 小林 博子, 木暮英輝

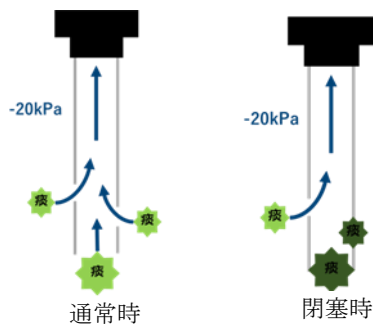


図1. 吸引時のカテーテル先端の状況

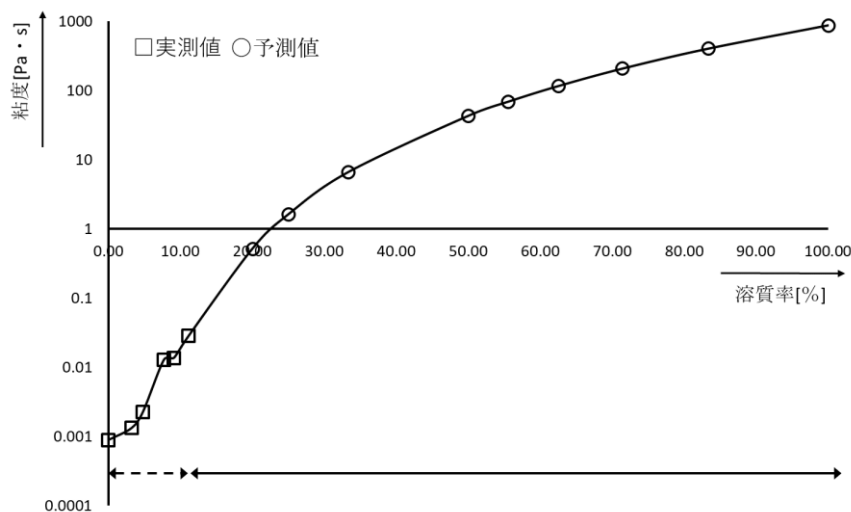


図2. 模擬痰と粘度の関係(実測値+予測値)

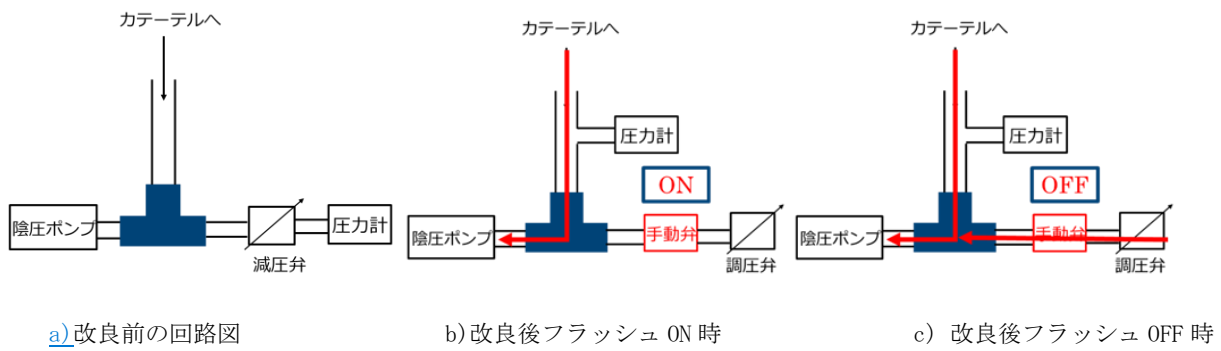


図 3. 吸引器の回路図



図 4. 改良後の吸引器本体

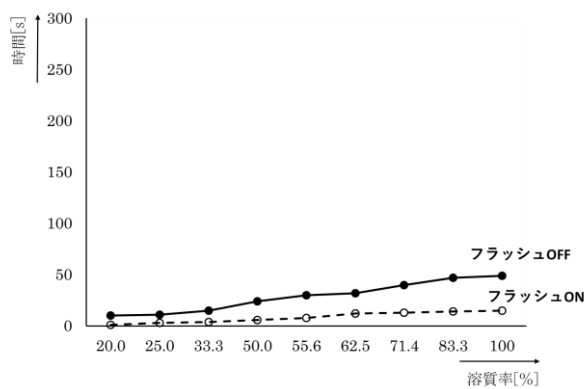


図 5. 陰圧フラッシュ機能評価(成人用:14Fr)

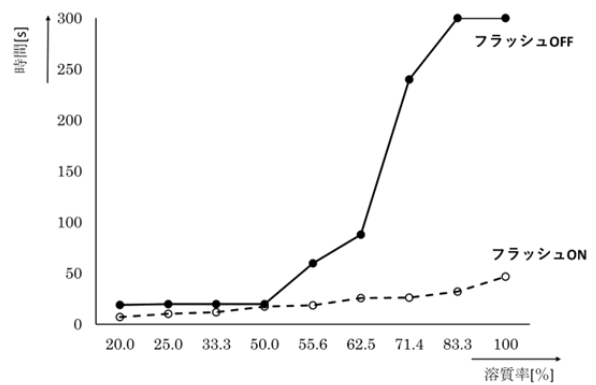


図 6. 陰圧フラッシュ機能評価(小児用:5Fr)