原著

NPPV マスクからのリーク量とマスク内圧の解析

水島 岩徳* 中島 章夫*¹

Study on amount of leak from NPPV masks and the mask internal pressure

Iwanori Mizushima*, Akio Nakajima*¹

Abstract

In late years, cases of NPPV (non-invasive positive pressure ventilation therapy) increased. Because we do not need intubation by the breathing management of NPPV, a wearing state to the patient of the NPPV mask is important, and has a big influence on curative effect. In this study, we built the system that measured quantity of leak by the state of the fitting for the mask, and measured the mask internal pressure under the situation that there was leak. This system measured the state of the fitting and the quantity of leak from a mask, and mask internal pressure with a face model.

We measured quantity of leak in four ways of wearing state about two kinds of masks, but all became the leak rate more than 80%. In addition, the mask internal pressure was shown to maintain positive pressure set in a respirator even if leak existed. Although we were apt to strongly do a fitting because we were afraid of the leak from a mask, we knew that the mask internal pressure could maintain a set point even if leak existed, and the leak did not decrease even if we strongly did a fitting.

1. 目的

非侵襲的陽圧換気療法 NPPV (Noninvasive Positive Pressure Ventilation) は睡眠時無呼吸症候群のみならず、慢性閉塞性肺疾患の急性増悪や心原性肺水腫など救急・集中治療領域における症例も増加しており¹⁾、その適応範囲が拡大している。NPPV はマスクを用いて陽圧を患者の口や鼻に加え、気道を開通した状態で患者の換気を補助する呼吸療法であるため、リークがあることが前提となっている呼吸補助法である。このような常にリークが存在するような状況下では、医師以外のスタッフはマスクを

正しく装着しなければいけないという意識が強く働き、マスクを強く装着することに集中しがちである。その結果、患者の鼻根部に褥瘡や潰瘍など顔面にスキントラブルを生じている²⁻⁵⁾。

先行研究においても、NPPV におけるリークがトリガ機構、加湿、酸素濃度に与える影響に関する報告⁶⁾、マスク内の流れをシミュレーションし再呼吸との関連を解析した報告⁷⁾、マスクによる再呼吸が改善できる最適呼吸ポートについての解析⁸⁾はあるが、リークの存在下でマスク内の圧力が設定値に維持されることを定量的に検証した報告はない。

本研究では、臨床工学的な立場からモデルを用いてマスクの装着状態によるリーク量とマスク内圧の変化について工学的な検討を試みた。本研究の測定系から得られたデータより、マスクの装着状態を定量的に評価し、リークが存在

* 学校法人城西医療学園 日本医療科学大学
保健医療学部臨床工学科

¹ 杏林大学保健学部臨床工学科
(原稿受付：2018 年 4 月 25 日)

する状況下において人工呼吸器によって設定された陽圧がマスク内で維持されているかどうかを定量的に検証することを目的とした。

2. 方法

装着状態とリーク量，マスク内圧測定のための測定系構成図を図1，2に示す。

臨床で最もよく使用されているマスクであるフルフェイスマスクからのリーク量を測定するため，顔モデルを用いた測定システムを構築した。

1) 顔モデルの製作

顔モデルは，標準的な成人男性の顔面のうちフルフェイスマスクを装着する口・鼻周囲の

図1 測定系の構成図

マスクの装着状態を圧力センサで評価する装着状態計測系，自作換気量計1，2からなるリーク率計測系および自作圧力計によるマスク内圧計測系からなる。

図2 実際の測定系

顔モデルにマスクを装着し専用ストラップで固定した。マスクには人工呼吸器からの呼吸回路（1way パッシブ回路）を接続した。左右気管支にはチューブを接続し他端にYピースを介してテスト肺を接続した。装着状態を評価するため圧力センサと専用アンプ基板，専用ボード（AD変換器）でマスク装着部の圧力を測定した。自作換気量計1，2でリーク量を，自作圧力計でマスク内圧を測定した。

部分と、口腔および鼻腔・咽頭の上気道から気管・左右主気管支までの下気道を、3D プリントによる粉末焼結方式を用いたナイロン造形によって作成した。顔モデル表面には皮膚の弾性を模擬するためシリコン樹脂を被せた。顔モデルの左右気管支にチューブを接続し、チューブの他端に Y ピースを接続した。Y ピース先端にはテスト肺（容量 1L, コンプライアンス 0.0160L/cmH₂O）を接続した。

2) 人工呼吸器とマスク

人工呼吸器は在宅用 NPPV 専用人工呼吸器オートセット CS-A（ResMed 社製、帝人ファーマ）を用い、換気モードは ASV（Adaptive Servo Ventilator）モード、換気設定は呼気気道陽圧 EPAP（Expiratory Positive Airway Pressure）4.0cmH₂O、最大サポート圧力 PS（Pressure Support）max 20.0cmH₂O、最小サポート圧力 PSmin 4.0cmH₂O とした。呼吸回路は 1way パッシブ回路とし、マスクにはフルフェイスマスクの Mirage Quattro™(M)（ResMed 社：以下マスク 1）と PERFORMATRAK™(M)（Respironics 社：以下マスク 2）を用いた（図 3）。2 種のマスクで各々 4 通りの装着状態におけるリーク量の変化とマスク内圧の変化を測定した。

3) 装着状態の計測

マスクの装着状態を定量的に評価するため、顔モデルのマスク装着部位 5 箇所（図 4）に圧力センサ

を設置し、装着したときの圧力を測定した。5 個の圧力センサから得られた最大圧力値（データ数 n=5）の平均値を、その装着状態における圧力とした。

本研究では、圧力センサとして 3 軸力検出センサ（ショックカクチップ：Touchence 社）を用い、受圧面に対して垂直な方向の力 [N]（Z 軸）のみ計測した。Z 軸方向の定格荷重が 40N、許容過負荷 150%、感度 0.03V/N、受圧面面積 78.5mm² の TS タイプ（TSSI OD10 FPC38）と Z 軸方向の定格荷重が 2N、許容過負荷 250%、感度 0.3V/N、受圧面面積 25.1mm² の SP タイプ（SP22-FFC15）の 2 タイプのショックカクチップを用いた。

顔モデル表面（シリコン樹脂）の圧力センサ取り付け位置にスペーサを置き、圧力センサを設置したときに樹脂の表面と圧力センサの受圧面の高さを合わせてセッティングした。鼻根部と左右口角部の 3 ヶ所には SP タイプを、左右頬骨部の 2 ヶ所には TS タイプのショックカクチップを設置した（図 4）。

ショックカクチップを用いた圧力計測には、ショックカクチップからの出力電圧を増幅する専用アンプ基板（TS タイプ用 CHP-AMB-CN / SP タイプ用 CHP-AMB-FPC：Touchence 社）、専用アンプ基板から出力されるアナログ信号を AD 変換し USB コネクタからシリアル通信で PC へ出力する 8ch 評価ボード（CHP-EB-8：

図 3 NPPV マスク

今回使用した NPPV マスクを示す。

- (a) マスク 1 Mirage Quattro™ (M サイズ) (ResMed 社)
- (b) マスク 2 PERFORMATRAK™ (M サイズ) (Respironics 社)

図 4 圧力センサの設置部位

鼻根部と左右口角部の 3 ヶ所には Z 軸方向の定格荷重が 2N の SP タイプを、左右頬骨部の 2 ヶ所には Z 軸方向の定格荷重が 40N の TS タイプのショックチップを設置した。

Touchence 社), また, X, Y, Z 各軸の力を数値とベクトルで表示するグラフィック機能と CSV 形式でデータ保存をおこなうショックチップ専用 GUI である評価アプリケーション (CHP-GUI-1: Touchence 社) を使用した。ショックチップからのデータを CSV ファイルで取得後, 表計算ソフト (Microsoft Excel 2013) 上で受圧面の面積で除し圧力 [kPa] を求めた。

それぞれの装着状態を, マスク 1 装着時における各圧力センサの最大圧力値の平均値の低い方からマスク 1-1, マスク 1-2, マスク 1-3, マスク 1-4 とし, マスク 2 装着時においても同様に平均値の低い方からマスク 2-1, マスク 2-2, マスク 2-3, マスク 2-4 とした。

4) リーク量の計測とリーク率の算出

人工呼吸器出口からの換気量を計測する換気量計 1 (フローセンサ 1), テスト肺に入る換気量を計測する換気量計 2 (フローセンサ 2) を自作した。

換気量計 1, 2 の出力電圧は, AD 変換器 (USB-6008: National Instruments 社) を用いてデジタル信号に変換しノート PC に取り込み, LabVIEW 2013™ (National Instruments 社) を用いてデータファイル (CSV ファイル) を作成した。データファイルを基に表計算ソフト (Microsoft Excel 2013) で流量への換算, 時間積分をおこなうことで換気量を求めた。リ

ーク量の計測は, 人工呼吸器からの一回送気量 $V_1[L]$ を換気量計 1 から, テスト肺へ流入する一回吸気量 $V_2[L]$ を換気量計 2 から求め, リーク量 $V_L[L]$ を $V_L = V_1 - V_2$ より求めた。また, リーク率を (リーク量 $V_L[L]$ / 人工呼吸器からの一回送気量 $V_1[L]$) $\times 100[\%]$ より求めた。データ数 n は 1 分間における吸気の回数とした。

5) マスク内圧の計測

マスク内圧は自作した圧力計にて計測した。2 種のマスクのそれぞれに設置されている圧モニタリングポートに圧力計からのモニタリングチューブ (内径 2mm, 50cm) を接続し, 圧力計からの出力を AD 変換器 (USB-6008: National Instruments 社) を用いてデジタル信号に変換しノート PC に取り込み, LabVIEW 2013™ (National Instruments 社) を用いてデータファイル (CSV ファイル) を作成した。データファイルを基に表計算ソフト (Microsoft Excel 2013) で圧力へ換算し, マスク内圧を求めた。データ数 n は 1 分間における換気回数とした。

6) 統計解析

2 種のマスクにおいて, 4 種の装着状態 (4 群) におけるリーク量, リーク率, マスク内圧の有意差検定を Microsoft Excel 2013 (アドインソフト Statcel 4 (2015): オーエムエス出版) にておこなった。用いたデータはリーク量とリーク率に関しては平均値を, マスク内圧に関してはマスク内圧の極大値および極小値から算出した中央値の平均値を用いた。

まず, Bartlett の検定 (有意水準 5%) で 4 群間での分散分析が可能か判定した。4 群間の分散が等しい場合は一元配置分散分析法 (有意水準 5%) により群間に差があるか検定をおこない, 各群間に差がある場合は Scheffe 法を用いて 4 群間での多重比較をおこなうこととした。4 群間の分散が等しくない場合は Kruskal-Wallis の検定 (有意水準 5%) をおこない群間に差があるか検定をおこない, 各群間に差がある場合は Steel-Dwass 法を用いて 4 群間での多重比較をおこなうこととした。

本研究で使用した機器を表 1 に示した。

表 1 使用機器

機器名	型 番	製造業者	備 考
顔モデル	ナイロン造形	JMC	
人工呼吸器	オートセットCS-A	RESMED	
呼吸回路	エアチューブ(スリム)	RESMED	
NPPVマスク	Mirage Quattro(M)	RESMED	フルフェイスマスク
NPPVマスク	PERFORMATRAK(M)	Respironics	フルフェイスマスク
チューブ	ISG-004	WAKI	
テスト肺	1L		コンプライアンス 0.0160L/cmH ₂ O
換気量計	自作		
圧力計	自作		
AD変換器	USB-6008	National Instruments	
ノートPC	CF-S9JYEPDR	Panasonic	換気量、マスク内圧データ収集用
ショックカクチップ	TSSI OD10 FPC38	Touchence	圧力センサ
ショックカクチップ	SP22-FFC15	Touchence	圧力センサ
スペーサ	2mm		
専用アンプ基板	CHP-AMB-CN	Touchence	
専用アンプ基板	CHP-AMB-FPC	Touchence	
評価ボード	CHP-EB-8	Touchence	
ノートPC	E732-F32B	eMachines	圧力データ収集用
評価アプリケーション	CHP-GUI-1	Touchence	
デジタルマルチメータ	CD771	SANWA	換気量計、圧力計検量線測定
圧力ゲージ	PG-200-102GH-S	COPAL ELECTRONICS	圧力計検量線測定
シリンジ	20ml		圧力計検量線測定
検量線測定用チューブ			圧力計検量線測定

3. 結果

1) 装着状態の計測

装着状態を変えて各マスクを装着したときの各圧力センサで得られた最大圧力値の平均値（最大圧力平均値）で装着状態を定量的に評価した（図 5）。マスク 1 ではマスク 1-1 が $8.63 \pm 5.41 \text{ kPa}$ ($n=5$)、マスク 1-2 が $10.2 \pm 3.99 \text{ kPa}$ ($n=5$)、マスク 1-3 が $12.0 \pm 7.82 \text{ kPa}$ ($n=5$)、マスク 1-4 が $15.4 \pm 9.73 \text{ kPa}$ ($n=5$) となった。マスク 2 ではマスク 2-1 が $3.23 \pm 2.40 \text{ kPa}$ ($n=5$)、マスク 2-2 が $4.65 \pm 7.88 \text{ kPa}$ ($n=5$)、マスク 2-3 が $15.0 \pm 9.94 \text{ kPa}$ ($n=5$)、マスク 2-4 が $23.0 \pm 9.63 \text{ kPa}$ ($n=5$) となった。

2) リーク量とリーク率の計測

各マスクについて、それぞれの装着状態におけるリーク量を測定した（図 6）。マスク 1 ではマスク 1-1 が $3.45 \pm 0.217 \text{ L}$ ($n=9$)、マスク 1-2 が

$2.90 \pm 0.643 \text{ L}$ ($n=12$)、マスク 1-3 が $2.74 \pm 0.593 \text{ L}$ ($n=13$)、マスク 1-4 が $2.70 \pm 0.154 \text{ L}$ ($n=13$) となった。マスク 2 ではマスク 2-1 が $2.32 \pm 0.294 \text{ L}$ ($n=21$)、マスク 2-2 が $2.29 \pm 0.341 \text{ L}$ ($n=18$)、マスク 2-3 が $1.25 \pm 0.0599 \text{ L}$ ($n=27$)、マスク 2-4 が $1.24 \pm 0.263 \text{ L}$ ($n=22$) となった。また、これらを基に各マスクについて、それぞれの装着状態におけるリーク率を算出した（図 7）。マスク 1 ではマスク 1-1 が $95.7 \pm 0.340\%$ ($n=9$)、マスク 1-2 が $96.2 \pm 1.01\%$ ($n=12$)、マスク 1-3 が $94.9 \pm 0.607\%$ ($n=13$)、マスク 1-4 が $95.0 \pm 0.159\%$ ($n=13$) となった。マスク 2 ではマスク 2-1 が $92.6 \pm 0.171\%$ ($n=21$)、マスク 2-2 が $92.9 \pm 0.509\%$ ($n=18$)、マスク 2-3 が $90.8 \pm 0.384\%$ ($n=27$)、マスク 2-4 が $88.3 \pm 0.460\%$ ($n=22$) となった。装着状態によらず、いずれの場合においても 80% 以上を超えるリーク率となった。

マスク1 (RESMED Mirage Quattro(M))

マスク2 (Respironics PERFORMATRAK(M))

図5 マスクの各装着状態における圧力

人工呼吸器：オートセット CS-A (帝人ファーマ)

換気設定：モード:ASV, EPAP: 4.0cmH₂O, MaxPS: 20.0cmH₂O, MinPS: 4.0cmH₂O

マスクを装着したときの各圧力センサで得られた最大圧力値の平均値 (最大圧力平均値) で装着状態を定量的に評価した。

マスク1 (RESMED Mirage Quattro(M))

マスク2 (Respironics PERFORMATRAK(M))

図6 マスクの各装着状態におけるリーク量 (Steel-Dwss 法による多重比較)

人工呼吸器：オートセット CS-A (帝人ファーマ)

換気設定：モード:ASV, EPAP: 4.0cmH₂O, MaxPS: 20.0cmH₂O, MinPS: 4.0cmH₂O

人工呼吸器からの一回送気量 V_1 [L] とテスト肺へ流入する一回吸気量 V_2 [L] からリーク量 V_L [L] を $V_L = V_1 - V_2$ より求めた。Steel-Dwss 法を用いて 4 群間での多重比較を行った。

3) マスク内圧の計測

マスク1のそれぞれの装着状態におけるマスク内圧の時間変化を測定した (図8)。各マスクのそれぞれの装着状態におけるマスク内圧の平均圧力 (マスク内平均圧力) をマスク内圧の極大値および極小値から算出した中央値の平均値より求めた (図9)。マスク1では

マスク1-1 が 8.60 ± 0.0364 cmH₂O (n=8), マスク1-2 が 8.11 ± 0.0452 cmH₂O (n=11), マスク1-3 が 9.20 ± 0.0112 cmH₂O (n=12), マスク1-4 が 8.99 ± 0.0198 cmH₂O (n=12) となった。マスク2ではマスク2-1 が 9.15 ± 0.111 cmH₂O (n=20), マスク2-2 が 10.1 ± 0.0547 cmH₂O (n=17), マスク2-3 が 8.27 ± 0.209 cmH₂O (n=26), マスク2-4 が 9.69

マスク1 (RESMED Mirage Quattro(M))

マスク2 (Respironics PERFORMATRAK(M))

図7 マスクの各装着状態におけるリーク率 (Steel-Dwass 法による多重比較)

人工呼吸器: オートセット CS-A (帝人ファーマ)

換気設定: モード: ASV, EPAP: 4.0cmH₂O, MaxPS: 20.0cmH₂O, MinPS: 4.0cmH₂O

求めたリーク量 V_L [L] から (リーク量 V_L [L] / 人工呼吸器からの一回送気量 V_I [L]) $\times 100$ [%] よりリーク率 [%] を求めた。いずれの装着状態においても 80% 以上を超えるリーク率となった。Steel-Dwass 法を用いて 4 群間での多重比較を行った。

図8 マスク1の各装着状態におけるマスク内圧の変化

NPPV マスク: マスク1 (RESMED Mirage Quattro(M))

人工呼吸器: オートセット CS-A (帝人ファーマ)

換気設定: モード: ASV, EPAP: 4.0cmH₂O, MaxPS: 20.0cmH₂O, MinPS: 4.0cmH₂O

各マスクの圧モニタリングポートにモニタリングチューブを接続し、自作圧力計にて各マスクの各装着状態におけるマスク内圧の時間的変化を測定した。マスク1のデータを示す。マスク2も同様な変化を示した。

± 0.457 cmH₂O (n=20) となった。マスク内圧の平均値はいずれのマスクにおいても装着状態によらず人工呼吸器の設定値 EPAP 4.0cmH₂O を維持していることがわかった。

4) 統計解析

2 種のマスクにおいて、4 種の装着状態 (4 群)

におけるリーク量、リーク率、マスク内圧の有意差検定をおこなった。

2 種のマスクにおいてリーク量、リーク率、マスク内圧とも Bartlett の検定 (有意水準 5%) の結果 $P < 0.05$ となり、4 群間で分散が等しいとはいえないことがわかった。そのた

マスク1 (RESMED Mirage Quattro(M))

マスク2 (Respironics PERFORMATRAK(M))

図9 マスクの各装着状態におけるマスク内圧 (Steel-Dwass 法による多重比較)

人工呼吸器：オートセット CS-A (帝人ファーマ)

換気設定：モード:ASV, EPAP: 4.0cmH₂O, MaxPS: 20.0cmH₂O, MinPS: 4.0cmH₂O

各マスクの各装着状態におけるマスク内平均圧力は、いずれも装着状態によらず人工呼吸器の設定値 EPAP 4.0cmH₂O を維持していることがわかった。Steel-Dwass 法を用いて 4 群間での多重比較を行った。

め Kruskal-Wallis の検定 (有意水準 5%) で群間に差があるか検定をおこなった。その結果 2 種のマスクにおいてリーク量, リーク率, マスク内圧とも $P < 0.05$ となり, 4 群間に差があることがわかった。どの群間に差があるかを Steel-Dwass 法を用いて 4 群間での多重比較をおこなった。リーク量については, マスク 1-2 とマスク 1-3, マスク 1-3 とマスク 1-4, マスク 2-1 とマスク 2-2, マスク 2-3 とマスク 2-4 以外は有意差があることが示された (図 6)。リーク率については, マスク 1-1 とマスク 1-2, マスク 1-3 とマスク 1-4, マスク 2-1 とマスク 2-2 以外は有意差があることが示された (図 7)。マスク内圧については 2 種のマスクとも各群間において有意差があることが示された (図 9)。

4. 考察

図 7 の結果より, それぞれのマスクにおいて装着状態によらず, いずれの場合においても 80% 以上を超えるリーク率となっていた。このことから, どちらのマスクにおいてもフィッティングの強さによらずリーク率は 90% 前後と変化がなく, 強くフィッティングしてもリークはほとんど減少しないということを示唆していると考えられた。

褥瘡を生じる外圧に関しては, 26.7kPa 以上の接触圧力が作用する際に褥瘡発生リスクは高まるという報告⁹⁾や, ずれにより血管が変形するとより弱い外圧でも血管の閉塞に繋がり, また皮膚毛細血管の動脈脚圧 32mmHg (4.27kPa) より低い圧でも長時間にわたれば静脈系のうっ滞や組織の浮腫を来し, 動脈系の血流をも低下させるという報告¹⁰⁾もある。褥瘡を生じさせない圧力上限値を安全側に見込んで 4kPa とすると, 最大圧力平均値が褥瘡を生じない圧力の上限値 4kPa 以下であるマスク 2-1 の場合のリーク率は $92.6 \pm 0.171\%$ ($n=21$), 最も上限値を超えたマスク 2-4 では $88.3 \pm 0.460\%$ ($n=22$) であり, どちらの場合もリーク率は 90% 前後と変わらず, リーク量はほとんど減少しないことがわかる。

図 9 の結果より, 褥瘡を生じない圧力の上限値 4kPa 以下でフィッティングしても, 上限値 4kPa を超えて強くフィッティングしてもマスク内圧の平均値は人工呼吸器の設定値 EPAP 4cmH₂O を維持できているといえる。臨床でフィッティングに携わるスタッフが, マスクを強く装着することに集中しがちである結果として, 過剰な圧迫をおこなってもリーク量を優位に低減することになっていない。むしろこのよ

うな努力は、患者の鼻根部に褥瘡や潰瘍など顔面にスキントラブルを生じる原因でしかない。非侵襲的なマスクの使用が患者にこのような傷害を与えているとすれば、それはもはや非侵襲的とはいえない。NPPV のメリットを最大限に生かすためには、マスクフィッティングより重要な要素として、マスク内圧の維持であると考えることができ、マスクのフィッティングでは内圧維持のできる程度にとどめておくことが要求事項となる。

統計解析の結果より、2種のマスクの各装着状態におけるリーク量、リーク率およびマスク内圧平均値には有意差があることから、これらは装着状態（フィッティングの状態）に依存することが示唆された。リーク率はいずれも80%以上となったが、その患者に最適なマスク内圧を維持するために必要な装着状態とは、どのような状態かを今後検討することが重要であると考え、データ数 n がばらついたのは、装着状態が強くなるにしたがってマスク内圧が設定圧に早く到達し次の換気が開始されるため、装着状態に依存して換気回数が増えるためと考えられた。

リーク量を計測するにあたり、NPPV 専用人工呼吸器では換気量を実測していないため今回のような顔モデルを用いた計測システムを構築した。そのため自発呼吸が存在する状況下でのリーク量は計測していない。NPPV は自発呼吸がある状況下で使用されるため、その点では実際の臨床での状況を反映しておらず本研究の限界であると考えられる。今後は自発呼吸をシミュレートした測定系を構築し、より詳細な解析が必要であると考えられる。

また、フィッティングを強くしてもリーク率が80%を超えており改善しないという結果が得られたが、本来 NPPV はリークが存在する状況下での使用が前提となっている呼吸補助法であることも要因の1つと考えることができる。さらに、装着状態の計測で用いた圧力センサの位置が5ヶ所固定されていたことで、マスクと顔モデルのフィッティングの位置が限定され、最適な位置でフィッティングされていなかった可能性も考えられる。

5. 結論

本研究では、マスクのフィッティングの状態によってリーク量がどのように変化するかを計測するシステムを構築した。また、リークが存在する状況下で人工呼吸器によって設定された陽圧が、マスク内で維持されるかどうかを検証した。

2種類のマスクについてそれぞれ4通りの装着状態においてリーク量を計測したが、いずれの装着状態でも80%を上回るリーク率となった。マスクからのリークを恐れるあまり強くフィッティングしがちであるが、強くフィッティングしてもリークは減少しないことをこの結果は示している。また、リークが存在していてもマスク内圧は人工呼吸器で設定された陽圧を維持していることが示された。

マスクを患者にフィットさせることは重要な要素であるが、フィッティングの強さは4kPaを超えて強くしなくてもよいことがわかった。一方、リーク量、リーク率およびマスク内圧が装着状態に依存することから、今後は人工呼吸器の設定値を維持できる最低の装着圧力の検討も必要と考える。

本論文に関して開示すべき COI はない。

文 献

- 1) 陳和夫. NPPV (非侵襲的陽圧換気療法) ガイドライン (改訂第2版). 日本呼吸ケア・リハビリテーション学会誌. 2016, Vol.26, No.2, p.177-180.
- 2) 吉田幸, 八田順子, 岡野安太郎ほか. NPPV マスク回診によるマスク関連皮膚障害の改善効果. 日本呼吸ケア・リハビリテーション学会誌. 2015, Vol.25, No.2, p.248-252.
- 3) 立花隆夫. Medical device-related pressure ulcers. 臨床皮膚科. 2014, Vol.68, No.5, p.32-36.
- 4) 尾田雅文, 二宮敬一, 原利昭. NPPV 鼻マスクのフィッティングにおける力学的検討. ライフサポート. 2013, Vol.25, No.4, p.124-129.
- 5) 二宮敬一, 吉田祐介, 半田俊弘ほか. NPPV 用鼻マスク装着時に作用する応力の計算力学的検討. ライフサポート. 2009, Vol.21, No.2, p.27-32.

- 6) Miyoshi, E.; Fujino, Y.; Uchiyama, A. et al. Effects of Gas Leak on Triggering Function, Humidification, and Inspiratory Oxygen Fraction During Noninvasive Positive Airway Pressure Ventilation. CHEST. 2005, Vol.128, No.5, p.3691-3698.
- 7) 田仲浩平. NPPV 用マスク内部流れと再呼吸の解析. Clinical Engineering. 2007, Vol.18, No.3, p.284-289.
- 8) 田仲浩平, 蒲地正幸, 佐多竹良ほか. 汎用熱流体解析コードを用いた Total Face NPPV マスク内における流れ解析の試み. 人工呼吸. 2006, Vol.23, No.1, p.67-77.
- 9) 宮地良樹 (編) (厚生省老人保健福祉局老人保健課 (監修)). 褥瘡の予防・治療ガイドライン, 照林社, 1998. 156p.
- 10) 岡田克之. 褥瘡のリスクアセスメントと予防対策. 日本老年医学会雑誌. 2013, Vol.50, No.5, p.583-584.