A323 NPPV 用鼻マスクの形状最適化システムに関する基礎的研究

Fundamental study on the adaptive design system for NPPV nasal mask

○ 学 吉田 祐介 (新潟大院)

正 尾田 雅文 (新潟大)

正 二宮 敬一 (新潟大院)

正 原 利昭 (新潟大)

Yusuke YOSHIDA, Graduate school of Science & Technology, Niigata University

Keiichi NINOMIYA, Graduate school of Science & Technology, Niigata University

Masafumi ODA, Center for Cooperative Research, Niigata University

Toshiaki HARA, Faculty of Engineering, Niigata University

Key Words: Biomechanics, Muscle and Skeleton, Human Interface, Supersonic Waves, Finite Element Method, Free Form Deformation, NPPV

1. 緒 言

睡眠時無呼吸症候群等の慢性的呼吸不全の症状が、比較的軽度である場合の治療法の一つとして、人工呼吸療法が適用されている。このような症例で適用される人工呼吸法には、例えば経鼻的持続陽圧呼吸療法(CPAP)や非侵襲的陽圧式人工呼吸療法(NPPV)などが挙げられる。これらの治療法は、非侵襲的であり患者の QOL 向上に寄与するところは大きいものの、その一方でマスクが顔を長時間圧迫することによる皮膚の圧迫壊死や、褥瘡を生じる等の問題点が、しばしば指摘されている。こうした問題に対して、臨床の現場においては、鼻マスク装着時に適正なベルト締め付け力を指導することや、褥瘡予防用ジェルの塗布により、症状を軽減する処置がなされている。

一般に欧米人と比較して鼻根部の発達程度が小さいと言われる東洋人の顔形状の特徴を考慮し、気密性を保持しかつ鼻マスクー皮膚間に作用する接触圧力の最適化が図られる形状を有する鼻マスクを提供することができれば、前述の皮膚障害に関する諸問題の根本的解決を図る上で、極めて有益と考えられる。

このような観点から、個々人の顔形状を考慮して鼻マスク形状が設計可能なシステムを構築するための基礎的研究の一環として、Free Form Deformation 法⁽¹⁾ (以下、FFD 法と記す。)を利用したモデリングシステムを構築し、簡単な応力解析の例を示した⁽²⁾。本研究では、モデリングシステムならびに得られた応力解析結果の評価を行うために、感圧導電ゴムを用いて、鼻マスク装着時の接触圧力値を実測し、両者を比較した結果、得られた知見について述べる。

2. マスク締め付け力の実験的計測

通常、鼻マスクは頭部にまわしたストラップで固定されており、看護師等が送気漏れ無く、かつ確実に呼吸補助が可能なストラップ張力を確認し、患者に対して指導している。本研究では、看護師による適切な指導のもと行われた先行研究例⁽³⁾に従って、鼻マスクを装着した場合の他に、これとは異なるストラップ張力が作用する場合に生ずる鼻マスクと顔間に作用する接触圧力についても併せて計測し、ストラップ張力が及ぼす接触圧力分布への影響についても評価した。実験は、Fig.1 中(a)に示すように、被験者(22 歳日本人男性)が仰向けの体位を保持した状態で、顔に鼻マスクを配置するとともに、1.6N から 2.6N まで 0.2N 毎に調整した錘(Dead Weight)を用いて、マスクの上部・下部ストラップ位置に、

それぞれ負荷した。このとき、マスクと顔の間に生ずる接触圧力を、同図中(b)に示す感圧導電ゴムセンサで測定するとともに、マスク内に約 4kPa の空気を満たし、マスクと顔の接触部からの空気漏れの有無を確認した。

Fig.2 は得られた計測結果の一例であり、マスク上部ストラップに作用する 2.4N の負荷を保持した状態で、下部ストラップの荷重を 1.6N から 2.6N まで、0.2N 毎に変化させた場合の各計測点における接触圧力値を示している。いずれの負荷条件であっても、額部の接触圧力が最も大きく、一方、人中部分ならびに鼻根部は小さい。これは、額部における軟部組織の厚さが他の領域に比べて薄く、応力集中を緩和する効果が小さいためと推測される。

Fig.1 Experimental setup

Fig.2 Results

Table.1 Material properties

Component	Young's modulus	Poisson's ratio	Number of element	Number of node
Skin	88kPa	0.495	18789	6356
Fat	1kPa	0.495	14237	4142
Muscle	0.1MPa	0.45	11698	3586
Gel pad	10kPa	0.495	3012	3598
Silicon rubber	0.3MPa	0.495	2457	2574

Fig.3 FE model

Fig.4 Mises stress distribution

Fig.5 Comparison between Measured value and Analytic value

また、下部ストラップへの荷重が増加するに伴い、左右頬部の接触圧力は増加する一方で、人中部の接触圧力はほとんど変化せず、額部や鼻根部については、下部ストラップ荷重が 2.4N 以上では、減少傾向を示す。

3. FEM 解析および実測値との比較検討

Fig.3 に示す様に、鼻マスク装着時の応力解析を行うに際

し、本研究では被験者の顔形状を考慮した有限要素(FE)モデル構築⁽²⁾を行った。すなわち、人体スライス画像に基づいて得た標準人体モデルを、超音波 3 次元形状計測結果に基づき FFD 法を適用して変形することで得た軟部組織および骨形状と、レーザー 3 次元デジタイザー(KONICA MINOLTA 社製 VIVID910)を用いて計測した顔表面形状を併せて考慮することで、個人顔 FE モデルを構築した。また、フジ・レスピロニクス社製 Comfort Classic M サイズの鼻マスクをモデルとして用いた。

Table.1 に、FE モデルを構成する各部材の要素数、節点数、物性値をそれぞれ示す。ここで、鼻マスクのゲルパッド部およびシリコンパッド部は圧縮性超弾性体として、一方、マスクフレームを剛体として、それぞれ定義した。また、境界条件として、顔モデルの骨表面に位置する接点の X,Y,Z 軸方向の変位をそれぞれ拘束した。また、臨床の現場において、看護師等は圧縮空気のリークを防止する観点から、患者に対してマスク下部ストラップに比べて、上部ストラップを強く締める様に指導していることを考慮し、上部ストラップ用クリップ部には 2.4N を、マスク下部クリップ部には 2.2N の垂直荷重をそれぞれ荷重条件として与えた。さらに、顔-マスク間に作用する摩擦係数を $\mu=0.5$ とし、鼻マスク装着時に作用する応力解析を汎用有限要素解析ソフト(ABAQUS/Standard ver.6.7)を用いて解析を行った。

Fig.4 中(a)は、FEM 解析により得られた顔表面に作用する Mises 応力分布を示す。また、同図中(b)は A-A 断面における応力分布を示している。図より、2 層構造を有する鼻マスクシリコンパッドは、極めて複雑に変形し、かつゲルパッドが大きく変形することで、接触圧力の集中を緩和しているものの、その効果は十分とはいえず、額部に最大 5.7kPa の Mises 応力が作用していることが判る。

Fig.5 に、感圧導電ゴムセンサによる接触圧力の実測値と、FEM 応力解析により導いた垂直応力を各計測点において、それぞれ比較して示している。両者の結果は、ほぼ一致しており、このことから、本研究で提案する個人用顔モデル構築システムならびに FEM 応力解析手法は、実際の応力状態を精度よく再現しうるものと考えられる。

4. 結 言

鼻マスク装着部の接触圧力について、感圧導電ゴムセンサによる計測値と、FEM 応力解析結果を比較検討した。両者の結果は、ほぼ一致しており、このことから、本研究で提案する個人用顔モデル構築システムならびに FEM 応力解析手法が、実際の応力状態を再現する上で、妥当性を有することが示された。

謝 辞

本研究の一部は、平成 20 年度科研費(基盤研究(C)19500382)の支援によるものであり、ここに謝意を表する。

参考文献

- (1) 矢原弘樹, 水野一徳, 他 4 名, “FFD 法を用いた 3 次元足部モデルの解剖学的特徴点の位置推定における誤差要因の分析”, 芸術科学会論文誌, Vol.4, No.4, p.168-175, 2005.
- (2) 二宮敬一, 吉田祐介, 尾田雅文, 原利昭, “NPPV 用鼻マスク形状最適化のためのモデリング環境構築”, 機講論 No.087-1, p.125-126, 2008.
- (3) 佐野毅, 坂本信, 他 5 名, “鼻マスクを用いた NIPPV によるヒト皮膚への生体力学的影響”, 機講論 No.04-48, p.431-432, 2005.