

立位および臥位におけるサージカルマスク密着性の比較： 3次元顔モデルを用いた基礎的検討

岡道(廣川) 桃子^{1,2)}, 茂野 由貴³⁾, 吉井 美穂⁴⁾

1) 富山大学総合医薬学研究科

2) 富山大学附属病院看護部

3) 富山県立大学看護学部

4) 富山大学学術研究部医学系基礎看護学

要 旨

サージカルマスクの密着性に関する研究において、臥位での評価は十分に明らかにされていない。本研究では、東北大学電気通信研究所のデータベースを基に3Dプリンタで顔モデルを作成し、立位および臥位におけるマスク密着性を空気漏れ率から比較検討した。空気漏れ率は、サージカルマスク装着後に労研式マスクフィッティングテスター MT-05U型を用いて測定した。小顔立位、小顔臥位、中顔立位、中顔臥位の4条件を設定し、一元配置分散分析を用いて群間比較を行い、その後の検定として Games-Howell 法による多重比較を実施した。その結果、空気漏れ率の平均値は中顔立位 $11.08 \pm 9.35\%$ 、中顔臥位 $6.76 \pm 6.56\%$ 、小顔立位 $11.20 \pm 11.31\%$ 、小顔臥位 $9.73 \pm 13.28\%$ となり、中顔モデルでは立位より臥位で有意に低値を示した ($p=0.043$)。本研究では硬性素材を用いて顔モデルを作成したため、臥位での軟部組織変化を再現していないが、臥位で密着性が改善したことにより、姿勢がマスク構造と顔型の関係に影響することが示唆された。

キーワード

サージカルマスク、密着性、臥位、顔モデル、マスクフィッティングテスター

はじめに

マスクは飛沫やエアロゾルによる感染症の拡大防止に広く用いられており、その防護効果はフィルター性能と顔面への密着性に依存することが知られている^{1,2)}。特に密着性は、マスク内外の漏れを最小限に抑制し、実効的な防御効果を確保する上で重要な要素である^{1,3)}。これまでの研究では、主として立位や座位など通常の姿勢における密着性が評価されてきており、フィルター改良やマスク装着方法の工夫によって密着性が改善されることが報告されている^{4,5)}。また顔型や人類学的特性によってマスクの適合性に差異が生じるこ

とも示されており⁶⁻⁹⁾、マスク設計や適合テストの基盤データとして活用されている。

一方で、臥位におけるマスク密着性については十分な検討が行われていない。臥位は睡眠時や医療処置時に頻繁にとられる姿勢であり、この際のマスク密着性を明らかにすることは、日常生活における感染予防対策や臨床現場での安全性確保において重要な意義を有する。Brill¹⁰⁾らは、持続陽圧呼吸療法におけるマスク圧痕や空気漏れについて報告しているものの、これらは専用マスクでの用具的条件下あるいは呼吸補助装置下でのデータであり、一般的なマスクを装着した状態での姿勢変化と顔型との関連については十分に解明され

ていない。

中でもサージカルマスクは医療現場において最も広く使用され、術野の無菌環境維持や医療従事者の曝露防御に不可欠である¹⁾。加えて、COVID-19 パンデミック以降は医療機関内外を問わず一般市民に最も普及したマスクであり¹¹⁾、臨床現場のみならず社会生活においても感染防御の基本的手段として位置づけられている。

本研究では、3D プリンタで作成した顔モデルを用いて、臥位および立位におけるマスク密着性を空気漏れ率から評価し、姿勢と顔型の影響を比較検討することを目的とした。

研究方法

1. 顔モデルの作成 (図1)

本研究では、東北大学電気通信研究所のデータベース¹²⁾を基に、3D プリンタを用いて2種類の顔モデルを作成した。人工知能研究センターが公表している日本人頭部寸法データベース 2001¹³⁾を参考にし、A: 左右の頬骨弓間の最大幅 (頬弓幅)、B: 左右の下顎角点間の最大距離 (下顎角幅)、C: 鼻下点からオトガイまでの距離 (鼻下-オトガイ距離) の3項目を基準とした。これらの各部位が5 パーセント以下に相当するモデルを「小顔モデル」、40 ～ 60 パーセント範囲に相

当するモデルを「中顔モデル」とした。鼻の高さについては、両モデルとも日本人の平均値を採用した。

2. 空気漏れ率測定 (図2)

呼気を模擬するため、顔モデルの口腔および鼻腔に開孔を設け、ネブライザーを用いて塩化ナトリウム粒子を流通させた。測定には、労研式マスクフィッティングテスター MT-05U 型 (柴田科学、東京) を用い、マスク装着時の内外の粉塵侵入率を測定した。マスクは米国規格 ASTM-F2100-19 LEVEL1 に適合したサラヤサージカルマスク F (サラヤ、大阪) を使用した。なお、装着に伴う手技的誤差を最小化するため、マスク装着は1名の実験者が担当し、1枚当たり10回の繰り返し測定を行った。空気漏れ率 (Leakage Percentage: LP) は以下の式により算出した。

$$LP = \frac{Ci}{Co} \times 100$$

LP: 空気漏れ率 (Leakage Percentage, %)

Co: マスク外側の粒子計数値 (count)

Ci: マスク内側の粒子計数値 (count)

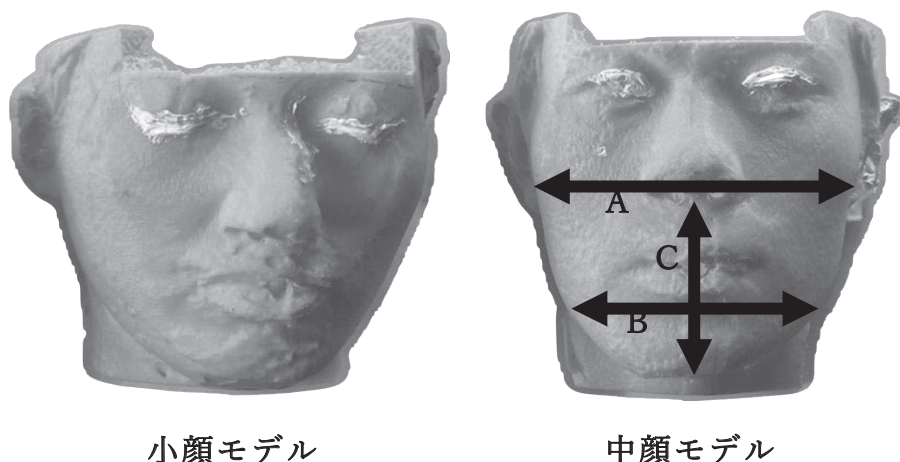


図1 3D プリンタで作成した顔面モデル



図2 マスクフィット評価のための実験セットアップ

表1 顔モデルのサイズ

モデル	頬弓幅 (mm)	下顎角幅 (mm)	鼻下-オトガイ距離 (mm)	鼻の高さ (mm)
小顔モデル	130.8	99.2	64.9	30.0
中顔モデル	144.9	109.3	70.6	31.5

3. 顔の大きさおよび体位の組み合わせ

小顔立位, 小顔臥位, 中顔立位, 中顔臥位の4条件を設定し, それぞれの群間における空気漏れ率の比較を行った.

4. 分析および統計学的処理

統計解析には IBM SPSS ver. 29 を使用した. 顔の大きさおよび体位の組み合わせによる群間比較は一元配置分散分析を用いて行い, その後の検定

として Games-Howell 法による多重比較を実施した。有意水準は 5%とした。

結 果

1. 顔モデルのサイズ (表1)

小顔モデルの寸法は, A. 頬弓幅 130.8 mm, B. 下顎角幅 99.2 mm, C. 鼻下-オトガイ距離 64.9 mm, 鼻の高さ 30.0 mm, 中顔モデルは, A. 頬弓幅 144.9 mm, B. 下顎角幅 109.3 mm, C. 鼻下-オトガイ距離 70.6 mm, 鼻の高さ 31.5 mmであった。

2. 顔の大きさおよび体位の組み合わせごとの空気漏れ率の比較 (表2, 図3)

中顔立位, 中顔臥位, 小顔立位, 小顔臥位の 4 条件について, 各 50 枚のマスクを用いて測定した。その結果, 平均空気漏れ率は, 中顔立位 $11.08 \pm 9.35\%$, 中顔臥位 $6.76 \pm 6.56\%$, 小顔立位 $11.20 \pm 11.31\%$, 小顔臥位 $9.73 \pm 13.28\%$ であった。4 条件の空気漏れ率に対して一元配置分散分析を実施した結果, 有意差が認められた ($p=0.020$) ため, Games-Howell 法を用いて多重比較を行ったところ, 中顔立位と中顔臥位の間に有意差が認められ ($p=0.043$), 中顔モデルでは臥位よりも立位において空気漏れ率が有意に高いことが示された。

表 2 各顔モデルの体位別空気漏れ率

条件	平均値 \pm 標準偏差	p値
小顔立位	11.20 ± 11.31	0.020
小顔臥位	9.73 ± 13.28	
中顔立位	11.08 ± 9.35	
中顔臥位	6.76 ± 6.56	

* $p<0.05$

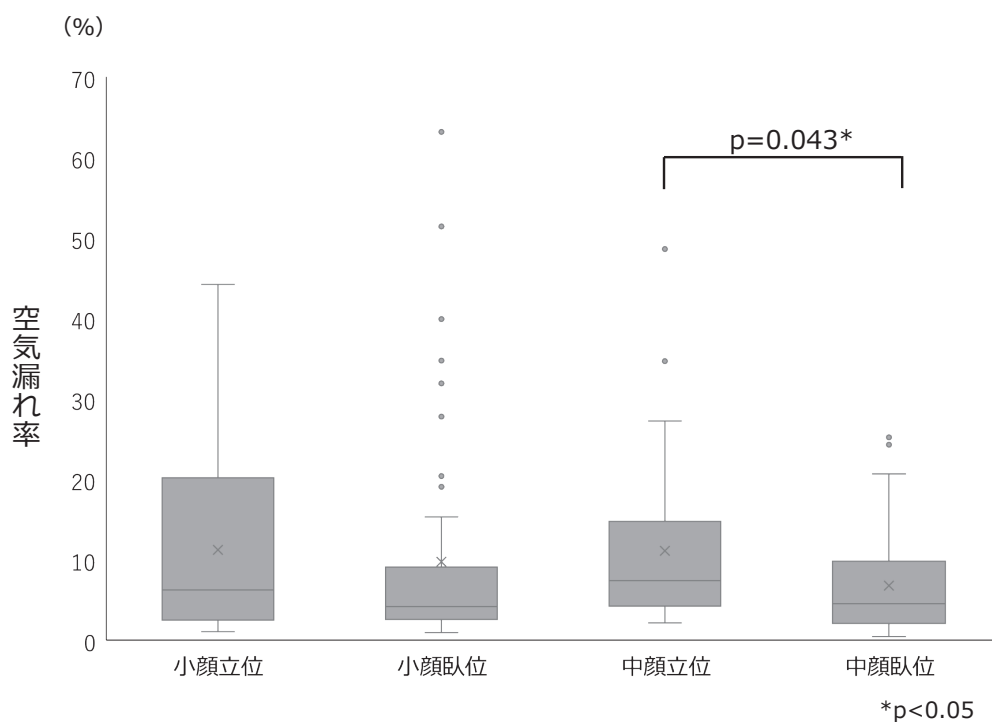


図 3 各顔モデルと体位の組み合わせによる空気漏れ率の比較

考 察

本研究では、3D プリンタで作成した日本人顔モデルを用い、立位および臥位におけるマスクの密着性を空気漏れ率から検討した。その結果、中顔モデルにおいて立位より臥位の方が有意に密着性が高いことが示され、小顔モデルでは姿勢による有意差は認められなかった。

まず、中顔モデルで立位よりも臥位の方が密着性が高かった点について考えると、本研究の顔モデルは硬性素材で作成されているため、実際の人間でみられる軟部組織の重力による移動は再現されていない。それにもかかわらず差が生じたことは、マスク自体の重量や耳掛け部のゴム紐の張力方向が、立位と臥位で変化することにより、顔モデルとの接触面に微妙な違いが生じた可能性がある。すなわち、本研究の結果は「顔面軟部組織の重力変化」を直接的に反映するものではなく、マスク構造と顔型の幾何学的関係が姿勢によって影響を受けることを示唆していると考えられる。

一方、小顔モデルでは立位と臥位で有意差は認められなかった。このことは、小顔モデルではマスクのサイズと顔面形状の不一致が大きく、体位変化による影響が相対的に小さかった可能性がある。先行研究においても、顔サイズや輪郭の違いがマスク密着性に及ぼす影響が指摘されており⁶⁾、今回の結果はその知見を裏付けるものである。

本研究の知見は臨床現場における実践的意義を持つ。実際の人間では、臥位で顔面の軟部組織が後方に移動し、マスクとの接触圧が増すことが報告されている⁷⁾。このため、今回の結果はその知見を補強する可能性があり、睡眠時や長期臥床患者におけるマスク使用において、防御効果が必ずしも低下しないことを示す材料となり得る。さらに、この結果はマスク設計に対する工学的示唆も含んでおり、立位や座位を前提とした従来の設計に加えて、臥位での装着性を考慮した新たなマスク開発の必要性を示している。

しかし、本研究にはいくつかの限界がある。

第一に、顔モデルは硬性素材であり、実際の皮膚や軟部組織の動態を再現できていない。第二に、使用したマスクは1種類に限られており、素材や形状の違いによる影響は評価できていない。第三に、測定は静的条件で実施したため、実際の呼吸や発話、体動による影響については不明である。今後は、異なる種類のマスクや実際の被験者を対象とした検討、さらに呼吸動作を加えた動的条件での評価が求められる。

結 語

本研究では、3D プリンタで作成した日本人顔モデルを用い、立位および臥位におけるマスク密着性を空気漏れ率から比較検討した。その結果、中顔モデルにおいては立位よりも臥位で密着性が有意に高く、小顔モデルでは有意差を認めなかった。

この結果は、硬性モデルを用いた条件下でもマスク構造と顔型の幾何学的関係が姿勢によって変化する可能性を示唆している。実際の人間においては、さらに臥位での顔面軟部組織の重力移動が加わることが報告されており、今回の結果はその知見を補強する可能性がある。

以上より、マスクの密着性は体位や顔型によって影響を受けることが示され、臨床現場や日常生活におけるマスク使用、さらにはマスク設計においても姿勢の違いを考慮する必要性が示唆された。今後は、異なるマスク形状や実際の被験者を対象とした研究を通じて、体位と顔型を考慮した最適なマスク設計および感染対策の確立が求められる。

謝 辞

本研究を遂行するにあたり、多大な支援とご助言を賜りました富山県立大学情報工学部の皆様に心より感謝申し上げます。

利益相反

申告すべきものなし。

引用・参考文献

- 1) Oberg T, Brosseau LM : Surgical mask filter and fit performance. *Am J Infect Control* 36 (4) : 276-282. doi : 10.1016/j.ajic. 2007. 07. 008. 2008.
- 2) Grinshpun SA, Haruta H, Eninger RM, et al. Performance of an N95 filtering facepiece particulate respirator and a surgical mask during human breathing: two pathways for particle penetration. *J Occup Environ Hyg.* 6 (10) : 593-603. doi:10. 1080/15459620903120086. 2009.
- 3) Brill AK, Pickersgill R, Moghal M, et al. Mask pressure effects on the nasal bridge during CPAP. *ERJ Open Res.* : 4 (4) : 00168-2018. doi:10. 1183/23120541. 00168-2018. 2018.
- 4) Bandiera L, Pavar G, Pisetta G, et al. Face coverings and respiratory tract droplet dispersion. *R Soc Open Sci.* : 7 (8) : 201663. doi:10. 1098/rsos. 201663. 2020.
- 5) Clapp PW, Sickbert-Bennett EE, Samet JM, et al. Evaluation of cloth masks and modified procedure masks as personal protective equipment for the public during the COVID-19 pandemic. *JAMA Intern Med.* 181 (4) : 463-469. doi : 10. 1001/jamainternmed. 2020. 8168. 2021.
- 6) Lee SA, Hwang DC, Li HY, et al. : Particle size-selective assessment of protection of European standard FFP respirators and surgical masks against particles. *Ann Occup Hyg* 52 : 177-185, 2008.
- 7) Zhuang Z, Coffey CC, Ann RB. The effect of subject characteristics and respirator features on respirator fit. *J Occup Environ Hyg.* 2 (12) : 641-649. doi:10. 1080/15459620500391668. 2005.
- 8) Zhuang Z, Bradtmiller B. Head-and-face anthropometric survey of U. S. respirator users. *J Occup Environ Hyg.* 2 (11) : 567-576. doi : 10. 1080/15459620500391668. 2005.
- 9) Zhuang Z, Bradtmiller B, Shaffer RE. New respirator fit test panels representing the current U. S. civilian workforce. *J Occup Environ Hyg.* 4 (9) : 647-659. doi : 10. 1080/15459620701497538. 2007.
- 10) Zhuang Z, Bergman M, Palmiero A, et al. Temporal changes in filtering-facepiece respirator fit. *J Occup Environ Hyg.* 13 (4) : 265-274. doi : 10. 1080/15459624. 2015. 1116692. 2016.
- 11) Liang M, Gao L, Cheng C, et al. Efficacy of face mask in preventing respiratory virus transmission: A systematic review and meta-analysis. *Travel Med Infect Dis.* 36 : 101751. 2020.
- 12) 東北大学電気通信研究所. RIEC-HRTF : https://www.riec.tohoku.ac.jp/pub/hrtf/hrtf_data.html. 最終閲覧日 2024 年 8 月 11 日.
- 13) 河内まき子, 持丸正明 : 日本人頭部寸法データベース 2001, 産業技術総合研究所 H16PRO-212. <https://www.airc.aist.go.jp/dhrt/head/index.html>. 最終閲覧日 2024 年 8 月 11 日.

Assessment of surgical mask fit in upright and supine positions: A fundamental study using a 3D-printed facial model

Momoko OKAMICHI (HIROKAWA)^{1,2)}, Yuki SHIGENO³⁾, Miho YOSHII⁴⁾

1) Graduate School of Medicine and Pharmaceutical Sciences, University of Toyama

2) Department of Nursing, Toyama University Hospital

3) Faculty of Nursing, Toyama Prefectural University

4) Department of Fundamental Nursing, Faculty of Medicine, Academic Assembly, University of Toyama

Abstract

The fit of surgical masks in the supine position has not been sufficiently investigated. In this study, facial models were fabricated using a 3D printer based on a database from the Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University, and mask fit was evaluated in both standing and supine positions by comparing air leakage rates. Air leakage was measured with a mask fitting tester (MT-05U, Roken), after donning a surgical mask. Four conditions were set: small-face standing, small-face supine, medium-face standing, and medium-face supine. One-way ANOVA was conducted for group comparisons, followed by Games-Howell post hoc testing. The mean air leakage rates were $11.08 \pm 9.35\%$ (medium-face standing), $6.76 \pm 6.56\%$ (medium-face supine), $11.20 \pm 11.31\%$ (small-face standing), and $9.73 \pm 13.28\%$ (small-face supine). The medium-face model showed significantly lower leakage in the supine than in the standing position ($p = 0.043$). Although soft tissue changes in the supine position were not reproduced because rigid material was used for model fabrication, the improved fit observed in the supine posture suggests that body position may affect the interaction between mask structure and facial shape.

Keywords

surgical mask, fit, supine position, facial model, mask fitting tester

