

化粧用油剤で処理したヒト皮膚の摩擦ダイナミクス

Friction Dynamics of Human Skin Treated with Cosmetic Oils

山形大・院理工（正）*野々村 美宗 山形大・院理工（非）酒田 由佳 旭川医大（非）眞山 博幸

Yoshimune Nonomura*, Yuka Sakata*, Hiroyuki Mayama**

*Yamagata University, **Asahikawa Medical University

1. 緒言

ヒト皮膚の摩擦はその状態やスキンケア効果を反映する重要な指標である。Adams らは親水性、疎水性のプローブを使用して、乾いた皮膚、水で湿った皮膚の摩擦評価を行ったところ、どちらのプローブを使用しても乾いた皮膚よりも湿った皮膚の方が摩擦力が大きくなることを明らかにした¹⁾。また、親水性のプローブを使用すると stick-slip が発現した。水だけでなく、グリセリン、またワセリンなどの油を皮膚に塗布すると皮膚内の水和水が増加し皮膚の摩擦が上昇することも示されている²⁾。これは、これらの物質が粘性のある潤滑性エモリエント剤であるため、塗布直後には皮膚の摩擦係数が低下するが、その後、それらの潜在的な閉塞性によって引き起こされる水和によって摩擦係数が増加したと考えられている³⁾。

これらの摩擦評価は一定速度で接触子が摺動する条件下で行われてきた。皮膚は粘弾性を有するソフトマテリアルであるため、非線形運動下におけるダイナミクスに着目することによつて保湿がヒト皮膚の力学特性に及ぼす影響やスキンケア化粧料の設計について新たな知見が得られることが期待される。そこで我々は、ヒトの触動作を模倣して非線形運動下での摩擦ダイナミクスを評価できる正弦運動摩擦評価装置を開発した⁴⁾。さらに、ヒト皮膚を水またはグリセリン水溶液で処理すると摩擦係数が大きくなるだけでなく、皮膚と接触子がしっかりと接着してすべり減少が抑制するために減速過程においても摩擦係数が増加する stick pattern が多くの被験者で観察された⁵⁾。この現象は角質層が膨潤し、接触子と皮膚表面の真実接触面積が増加したためと考えられる。

本研究では、この装置を用いて、最も一般的なスキンケア化粧料用の油剤であるワセリンまたはシリコーンオイルで処理したヒト皮膚の間で起こる摩擦を評価し、油剤がヒト皮膚の物理的特性に及ぼす影響を明らかにした(図1)。これらの油剤は高い閉塞性を示すため、皮膚表面で被膜を形成して水分蒸散を抑制することで保湿効果を発揮することが知られている。さらに、角層水分量や皮膚の柔軟性との関係も検討した。

2. 方法

20名(男性10名、女性10名)の被験者を対象として摩擦評価を行った。各被験者の前腕中央の皮膚をワセリンまたはシリコーンオイルで処理し、摩擦の経時変化を正弦運動摩擦評価装置を用いて評価した。正弦運動は偏芯した円板を回転させてヨークを往復運動させる機構により実現した。接触子にはウレタン製触感接触子を用いた。この接触子の表面には深さ 0.15 mm の溝が 0.5 mm の間隔で刻まれており、指でモノに触れた時の状況を忠実に再現することができる⁶⁾。摩擦の条件は、角速度 $\omega = 2.1 \text{ rad s}^{-1}$ (最高速度 10 mm s⁻¹)、垂直荷重 $W = 0.98 \text{ N}$ だった。

角質水分量、皮膚の柔らかさおよび経皮蒸散水分量はインテグラル社製の Corneometer CM825TM、Cutometer SEM575TM および Tewameter TM300 を使用して評価した。角質水分量は皮膚のインピーダンス、柔らかさは内径 2 mm の吸引口より 300 hPa の陰圧を 2 秒間負荷したときの皮膚伸長度、経皮蒸散水分量はプローブの先端の円筒型チャンバー内部の 2 組のセンサーによって測定された水分量から算出された。測定はすべて温度 25 °C ± 1 °C、湿度 50 % ± 5 % の条件下で行った。これらの検討は山形大学工学部倫理審査委員会によって審査・承認を受けたうえで行われた。

3. 結果

ウレタン樹脂製指モデルを用いて未処理のヒト皮膚を正弦運動下で摩擦したところ、ワセリン及びシリコーンオイルで処理前の皮膚ではそれぞれ 58.7 ± 48.0 %、79.4 ± 36.2 %で、指モデルの摺動開始時に摩擦係数が 1.1 まで増加した後で振動現象が起こる oscillation pattern が観察された。また、摩擦力の応答には、接触子の動きに対して時間差 Δt の遅れが生じた。この時間差を 1 往復にかかる摩擦時間 T_0 で割った規格化した遅れ時間 δ は 0.11~0.21 だった。摩擦の過程で振動現象が発現しない stable pattern 及び皮膚と指モデルの接着により摩擦係数が増加する stick pattern がワセリ



Fig.1 Sinusoidal motion friction evaluation system.

ンまたはシリコーンオイル処理前でそれぞれ $15 \pm 33\%$ 、 $6 \pm 23\%$ および $26 \pm 42\%$ 、 $14 \pm 31\%$ 観察された。

化粧用油剤を塗布することによって皮膚の摩擦特性は変化した。ワセリンで処理した皮膚の摩擦係数 μ 及び遅れ時間 δ の変化量 $\Delta \mu$ 及び $\Delta \delta$ は、どちらも処理直後に最小値を示し、 -0.19 ± 0.16 、 0.000 ± 0.030 だった。シリコーンオイルで処理した皮膚でも、 $\Delta \mu$ 、 $\Delta \delta$ は処理直後に最小値を示し、それぞれ -2.6 ± 0.16 、 -0.030 ± 0.035 だった。油剤でヒト皮膚を処理すると、stable pattern の発現率が増加した。いずれの油剤で処理しても、処理直後に stable pattern の発現率が有意に増加した。すなわち、ワセリンで処理した皮膚では $61.7 \pm 48.7\%$ 、シリコーンオイルで処理した皮膚では $93.3 \pm 23.2\%$ であった。さらに、シリコーンオイルで処理した皮膚では、90 分後まで stable pattern の発現率が有意には高いままだった。

ワセリンまたはシリコーンオイルの塗布は、皮膚の状態にも影響を及ぼした。ワセリンで処理した皮膚では、60 分、90 分で角層水分量の変化量 ΔH が有意に高い値を示し、それぞれ、 19.3 ± 11.8 、 22.3 ± 9.4 であった。一方で柔軟性の変化を示す ΔU_f は処理直後に 0.021 ± 0.030 と最大値、経皮水分蒸散量の変化を示す $\Delta TEWL$ は 30 分後に最小値 -2.03 ± 3.6 を示したが、いずれも有意性は認められなかった。シリコーンオイルで処理した場合も同様の傾向だった。これらの結果から、ワセリンまたはシリコーンオイルで皮膚を処理すると、角質水分量は経時変化とともに増加するが、皮膚の柔らかさや TEWL にはほとんど影響を与えないことが明らかになった。

4. 考察

正弦運動摩擦評価装置により、化粧用油剤で処理すると、摩擦係数 μ 及び遅れ時間 δ が減少するだけでなく、振動現象が抑制されて stable pattern の発現率が高まることが確認された。この現象は、油剤が皮膚表面で表面エネルギーの低い潤滑膜を形成し、接触子と皮膚の間の凝着が弱まるとともに、振動現象が抑制されて、接触子が皮膚上を滑らかにスライディングすることが可能になったためと推察する。Charruyer らは蛍光顕微鏡観察によってワセリンやシリコーンオイルは角層まで浸透することを見出している⁷⁾。

5. 結言

本研究では、正弦運動摩擦評価装置を用いて、ワセリンまたはシリコーンオイルで処理することによって、角層の水分量は増加するが、ヒト皮膚表面で起こる摩擦力が低下し、皮膚表面における摩擦力の変動が抑えられて経時変化のパターンも変化することを見出した。これらの知見は摩擦に着目したスキンケアの効果や化粧料の使用感の評価方法を開発する上で役立つであろう。

参考文献

- 1) M. J. Adams, B. J. Briscoe & S. A. Johnson: Friction and lubrication of human skin, *Tribol. Lett.*, 26, 3 (2007) 239.
- 2) S. Nacht, J.A. Close, D. Yeung & E.H. Gans: Skin friction coefficient: changes induced by skin hydration and emollient application and correlation with perceived skin feel, *J. Soc. Cosmet. Chem.*, 32, 2 (1981) 55.
- 3) Y. Nonomura, T. Fujii, Y. Arashi, T. Miura, T. Maeno, K. Tashiro, Y. Kamikawa, R. Monchi, Tactile impression and friction of water on human skin. *Colloids Surf. B.*, 69 (2009) 264.
- 4) Y. Aita, N. Asanuma, A. Takahashi, H. Mayama, Y. Nonomura, Nonlinear friction dynamics on polymer surface under accelerated movement. *AIP Adv.*, 7 (2017) 045005.
- 5) Y. Sakata, M. Mayama & Y. Nonomura: Friction dynamics of moisturized human skin under non-linear motion, *Int. J. Cosmet. Sci.*, 44, 1 (2022) 20.
- 6) K. Kuramitsu, T. Nomura, S. Nomura, T. Maeno, Y. Nonomura, Friction Evaluation System with a Human Finger Model. *Chem. Lett.*, 42 (2013) 284.
- 7) A. Charruyer, M. Silvander, M. Caputo-Janhager, I. Raymond, R. Ghadially, Proderm technology: a water-based lipid delivery system for dermatitis that penetrates viable epidermis and has antibacterial effects. *BCM Dermatol.* 19 (2019) 2.