13 口呼吸における口腔内気流の可視化実験(2)

一 発煙法による観察と口腔内の部位別蒸発量測定 一

北大 歯学部 小林一郎^{*} 光銭裕二^{*} 三木恒夫^{*} 石川 純^{*O}
北大 工学部 吉田静男^{**}

An Experimental Study of Oral Air Flow Associated with
Mouth Breathing

- Flow Visualization with Smoke and Measurement of
Evaporation in Mouth Model

I.KOBAYASHI^{*†}, Y.KOUSEN^{*}, T.MIKI^{*}, J.ISHIKAWA^{*O},
S.YOSHIDA^{**}

Clinically, mouth breathing is quite hazardous, and severe gum inflammation and multiple tooth decay are caused with it. Pathological cause and mechanism have not been clarified yet sufficiently. This experiment was carried out to clarify oral air flow pattern associated with mouth breathing and to investigate the amount of evaporation on the model. Velocity profiles were also measured on it. During inhalation, evaporation from the palatal gum-margin of upper central incisor was remarkable. It may be thought one of the reasons why inflammation is so conspicuous in this region.

1 はじめに

口呼吸を常習する者の頻度はきわめて高く、その前歯部には、Fig1~4に示すように、う蝕が多発したり、高度の歯肉炎をみることが多い。その原因としては、口呼吸に伴って歯垢の蓄積が促進されたり歯肉や口腔粘膜の脱水乾燥によって組織の抵抗力が低下することなどが考えられている^(1,4)。しかし、これらの原因はまだ十分には解明されていない。もし、口呼吸の為害性、とくに歯肉に対する影響を具体的に証明することができれば、それは歯周疾患の病因論や診断を一層確実なものとするばかりでなく、より効率的な治療や予防の対策をたてる上からも、大きな意義をもつものと考えられる。このような点で、われわれは、口呼吸に伴う口腔内気流の実態を明らかにしたいと考え、さきの論文でも報告したように、まず銅板製の口腔矢状断面模型を用いて、口腔内外の等電位線測定実験を行ない、さらにプラスチック透明模型上で水流による流れの可視化実験を行ない、色素法やアルミニウム粉末による懸濁トレーサー法を用いて流れのパターンを裏証してきた^(2,3,4)。この研究は、それらに続く一連の実験であり、その主目的は口呼吸時の気流が口腔内のどこにどの程度の脱水乾燥をひき起こすかを明らかにすることである。

* Faculty of Dentistry, Hokkaido University, North 13 West 8, 060 Japan

** Faculty of Engineering, ditto.

Fig.1 A profile of a habitual mouth breather. Note insufficient lip seal.

Fig.2 Frontal view of a habitual mouth breather complaining gum bleeding, tooth decay and badly smell mouth.

Fig.3 Oral view of same patient as showed in Fig.2.

Fig.4 Improved oral condition after dental treatment. Same patient as showed in Fig.2 and 3.

2 実験方法

2.1 方法の1

まず、すでに報告した水流実験の有効性の立証も含め、発煙法による気流の可視化実験を試みた。模型としては上下顎の正中矢状断面の2種類のものを作製した。ひとつはFig. 5のaに示すような透明プラスチック板で作製した単純化模型で、この字型の箱型口腔に上下顎の歯を取り付けたものである。いまひとつはFig. 5のbに示すように正常なヒトの口腔をもとに、石膏で作製した3倍大の精密模型である。これらを、それぞれ実験風洞内に設置して、連続的な吸気時および呼気時の口腔内外の気流を発煙法によって観察した。咽喉にあける平均流速は、ヒトの呼吸に準じて 3 m/sec とした。

2.2 方法の2

口呼吸に伴う口腔粘膜からの脱水乾燥の実態を明らかにするため、さきの箱型単純模型を風洞内に設置して、連続的な吸気および呼気状態を再現し、実験を行なった。なお、部位別の蒸発量測定には、湿潤した13枚の濾紙をそれぞれFig. 5(a)の番号の位置に配置して、通気前後の濾紙の重量変化から、各部位の蒸発量を算出した。

2.3 方法の3

口呼吸時の口腔内各部位における脱水乾燥の実態をより正確に、かつ詳細に知りたいと考え、ヒト口腔の

3倍大矢状断面の石膏模型を風洞内に設置して、さきと同様に14枚の湿潤濾紙を用い、実験を行なった。

なお、脱水乾燥を左右する因子として、各部位での気流の速度プロフィールが重要な影響をもつと考え、この目的から定温度型熱線風速計を用いて、それぞれの部位での測定も行なっており、両者の関連を検討した。

Fig.5 Schematic drawing of the experimental apparatus for an elaborate model (a) and a simplified model (b).

3 実験結果と考察

3.1 方法1の結果と考察

プラスチックス製の箱型単純化模型では、上顎も下顎もその中切歯を直立させた状態で、実験を行なったが、その結果はFig. 6に示す通りである。すなわち口腔前方の煙は上下の歯の切縁間を下から上へ斜め方向に急速に通過し、さらには口蓋に沿って咽頭へ進むものの、一部の煙は上顎前歯の裏側(口蓋側)や舌に相当する空間に貯留することが分かった。これらはいずれも単純化モデルの本流実験において得られた結果とよく一致している。

さらに、精密な石膏模型での実験結果はFig. 7に示す通りである。口腔前方の煙は、上下中切歯の切縁間で集束されると、この部をきわめて速い速度で通過した。その後も煙はその幅をほとんど変えることなく、上顎中切歯の裏側(口蓋面)に沿って進み、この歯の口蓋側歯肉の表面を流れ、このおともほとんど同じ幅で口蓋に沿って咽頭へ進むことが明らかとなった。

この実験でみられた吸気時の流れのパターンは、さきの等電位線の測定結果や色素法あるいはアルミ粉懸濁トレーサ法による観察結果とも酷似しており、このことから、さきに報告した本流実験の有効性は明白である。

Fig.6 Smoke flow visualization on a simplified mouth model.

Fig.7 Smoke flow visualization on an elaborate mouth model.

3.2 方法2の結果と考察

単純化模型で、連続吸気時の部位別蒸発量を測定した結果は、Fig. 8に示すようであった。この図の縦軸は蒸発量 ($\text{mg}/\text{cm}^2 \cdot \text{min}$) であり、横軸は13ヶ所の部位を示す。左端には、参考に、自然蒸発量を掲げた。□印は開口部の主流速度が $4.0\text{m}/\text{sec}$ 、○印は、同じく $2.0\text{m}/\text{sec}$ である。また黒色は14枚全部の汚紙を同時に湿潤させた時、白色は、個別に汚紙を湿潤させたものである。なお室温は 20°C 、湿度は53%である。実験の結果、蒸発量は気流が衝突する部位が最大であり、その下流域では距離の増加と共に減少した。また蒸発面の温度を上昇させると、蒸発量も著しく増加した。たとえば 20°C の蒸発面温度に対して、 40°C の場合、蒸発量は約2倍に達した。吸気とは逆に、連続呼吸状態に加湿した気流のもとでは、

Fig.8 Distribution of localized evaporation rates and velocity contours on a simplified model for an inhalation case.

蒸発はほとんどみられなかった。以上の実験結果から、気流下の蒸発に影響し得る因子として、気流の速度や湿度、気流と壁面との角度、開口部からの距離、蒸発面の温度などが考えられた。しかし、それらを総括する最大の因子は、局所的な湿度環境、すなわち水蒸気濃度の分布状態であり、上述した諸因子は、この湿度環境と密接に関連すると考えられる。

しかしながら、これらは単純化模型によるものなので、より精密な模型を用いて、連続吸気時の部位別の蒸発量とそれぞれの速度プロフィールとを計測した。

3.3 方法3の結果と考察

石膏製のヒト口腔矢状断面の3倍大の模型を用いての、連続吸気時の部位別蒸発量の実験結果はFig. 9のようであった。縦軸は蒸発量 ($\text{mg}/\text{cm}^2 \cdot \text{min}$) であり、横軸は14ヶ所の部位を示す。黒丸印は最高流速時(切縁間1.7m/sec)の、また白丸印は平均流速時(切縁間1.2m/sec)の蒸発量である。なお室温は22℃、湿度は47%であった。

上下顎合計14ヶ所の測定点のうち、最も蒸発量が多かった部位は、上顎中切歯の口蓋面と、それに続く歯肉の辺縁部で、その量は自然蒸発量の4〜5倍に達した。これらは可視化実験で、気流の衝突が認められた部位である。なおその下流では、これらの点から遠ざかるほど蒸発量は減少した。

同一の模型で熱線風速計を用いて、各部位における吸気流の風速を測定した結果得られた速度プロフィールはFig. 10に示す通りである。なお流速は壁面から垂直方向に1mmごとに測定されている。図中の横線は断面平均

Fig.9 Distribution of localized evaporation rates on an elaborate model for an inhalation case.

Fig.10 Velocity profiles of inhalation stream on an elaborate model.

流速を示し、破線は風路中央部の最大流速値を示している。上顎中切歯口蓋面と、これに続く歯肉辺縁部では、他の計測部位と異なり、気流速度も最大で、しかも壁面に沿って流速が最高値を示した。しかし、これらの部位より後方の口蓋面では、蒸発量は徐々に減少し、気流速度も低下していた。一方、上顎前歯の唇側歯肉内部における蒸発量は少なく、自然蒸発量の1.5倍であった。しかしながら下顎前歯の唇面では、口蓋部と同程度の蒸発量を示した。これは吸気流が下顎前歯唇面付近で速度を上げながら口腔内に入るためと考えられる。このような部位による蒸発の傾向は、開口度を増加させたり、上顎前歯に歯間離開をつくらせた状態でも基本的に変わりなかった。また各部位における速度プロフィールを分析した結果、流速最大値および速度勾配と部位別蒸発量との間には、きわめて高い正の相関が認められた。

このような点からも、今後口呼吸常習者の病態を明確にするためには、その口腔内の流速最大値を測定することが、きわめて重要な指標になると考えられる。なお、加温気流下の呼吸実験では、いずれの部位でも蒸発量はごくわずかであった。

4 おわりに

口呼吸に伴う、口腔内での気流のパターンを単純化模型および精密模型より、発煙法を用いて実験した。その結果、これまで実態が解明されていなかった口呼吸時の流れの可視化に成功することができた。さらに、口腔内各部位における蒸発量を測定し、あわせてこれらの部位の速度プロフィールと比較検討することによって、口呼吸常習者にみられる著明な病変の発病機序に対して、きわめて有益な示唆を得ることができた。

参考文献

- 1 鈴木文雄：口呼吸の診断に関する研究—とくに口呼吸常習者の口腔所見とその電気生理学的診査について—口腔病学会誌, 35: 1, 1968.
- 2 徐 曉峰, 小林一郎, 光銭裕二, 百海 均, 田城敏雄, 西田修三, 吉田静男, 石川純：歯肉炎に対する口呼吸の影響。第一報, 口腔内気流の可視化模型実験について, 日歯周誌, 25: 624, 1983.
- 3 Ishikawa, J. et al: A Rheological Study of Mouth Breathing (Abts.), J. Dent. Res., 62, 660, 1983.
- 4 石川 純：鼻呼吸と口呼吸, 北海道歯誌, 4: 1, 1983.
- 5 石原智男：流れの可視化一般, 浅沼強編, 流れの可視化ハンドブック, 54, 朝倉書店, 東京, 1981.