

上・下気道の気流動態 —エアロゾルの立場から—

咽・喉頭

保健衛生大学 耳鼻咽喉科
岩田重信

実験目的

咽喉頭部のエアロゾル療法の効果をみるために、ジェットならびに超音波ネブライザー下に口腔、咽頭、喉頭、下気道にどのような状態でエアロゾル粒子が噴出され、呼吸気流と共に流れ、粘膜に付着するかを検討した。

鼻咽喉頭モデル作製

鼻咽口腔喉頭、気管の一部を含めたモデルを歯科用材料（プラスチック）を用いて作製し、正中部矢状断に透明板を用いて内部構造が明視できるようにした。

実験装置

エアロゾルを発生させる装置には

- ① ジェット・ネブライザー：日商式吸入用コンプレッサーK型およびネブライザー・セット
- ② 超音波ネブライザー：オムロン超音波吸入器 NE-U11B

を使用した。これら2種の機械に鼻用および口腔用アダプターを組み合わせた。

実験方法

上記モデルの気管断端部にアンビューバッグを気管挿管用チューブを介して装着し呼吸リズムに合わせ気流を再現し、これにネブライザーユニットを経鼻もしくは経口腔の状態で使用した。なお超音波ネブライザーでは経口腔時に鼻孔を開放した状態と閉鎖した状態についても実験を行った。

VTR撮影

鼻口腔、咽頭、下気道へのエアロゾル粒子の流れを、VTRにて撮影記録した。ネブライザーの使用薬剤には、注射用蒸留水に、リン酸デキサメタゾンNaを溶解したものと、粒子の付着状態を観察する目的のために水彩絵の具を溶解したものとを用いて経時的に検討を加えた。

実験結果

1) ジェット・ネブライザー

a. 経鼻アダプター使用の場合

開口した状態で経鼻的にジェット・ネブライザーを使用した場合の噴霧粒子の流れは吸気時鼻内では、中鼻道を主流に上方を通り一部上咽頭部にぶつかり急速に中咽頭部へ流れる。(噴出力と吸気流の加算) 呼気時のエアロゾルの流れは、噴出流と呼気流との関係のために、鼻腔内流は著しく減少し、一部が鼻腔前半部から中部までで呼気流による乱流を呈し、上咽頭や中咽頭にほとんど達していなかった。

b. 経口腔アダプター使用の場合

日常診療上、比較的良く使用されている経口腔的ジェット・ネブライザーにおいては、鼻呼吸の条件下では、エアロゾルの流れは吸気時アダプターから噴出された粒子は、口腔内特に口狭部にて乱流の増大を呈しながら、急速に中咽頭、下咽頭の後壁側を通り喉頭部に達する。喉頭部になるとエアロゾルの流量は約50～70%に減量し、さらに下気道へ侵入する流量は肉眼的に明瞭に減少していた。ついで、鼻孔を閉鎖し、口呼吸の条件下ではエアロゾルの流れは上咽頭、鼻腔内に於いて明瞭な変化が見られなかった。吸気時は鼻呼吸時と殆ど変化が見られない

が、呼気時ではエアロゾルは中咽頭から鼻咽腔を通り、上咽頭鼻腔後部における濃度が増加し、さらに鼻腔上・中部を通過し、吸気が始まる主として総鼻道を通り、咽頭部に吸引され、経口よりのエアロゾルと合流し中咽頭下咽頭腔のエアロゾルの濃度が増加、それに伴い吸気時の喉頭・下気道における流入濃度も増加している。

2) 超音波ネブライザー

a. 経鼻アダプター使用の場合

超音波ネブライザーを使用した場合エアロゾル粒子ジェット・ネブライザーに比し単位時間内濃度は明瞭に増加した。

b. 経口腔アダプター使用の場合

吸気時、経口的に噴霧されたエアロゾルは口腔内中部までは比較的安定した流れで口狭部では拡散され乱流が増加し、咽頭後壁に当たり下咽頭に向けやや濃度を増し下降し、食道入口部、披裂部に達し喉頭を通り気管内に流入するのを認めた。一部喉頭蓋と舌根部から上方に向かう乱流が認められた。呼気時口腔内中央部で呼気流と対面するエアロゾルの主流は周辺部（画像上、上下の乱れとして示された）を除いた部分が呼気流に打ち勝ち咽頭部に達し口腔内に充満した。ごく一部が咽頭側壁に沿って下降したが、大部分は上咽頭を経て鼻腔を通り外鼻に流出した。鼻孔を閉鎖した状態にすると、吸気時には噴霧速度と吸気流とあいまって加速され口腔、咽頭部に当たり、急速に中咽頭舌咽頭および喉頭に達し、かなりの量が声門を経て気管内に流入した。呼気時は中咽頭部に残存するエアロゾルが呼気流に抵抗して中咽頭部に達したエアロゾルとが合し、鼻咽腔に押し上げられ上咽頭部や後鼻腔に充満し、上、中鼻道をまた総鼻道を通り鼻孔方向に流れ回転し、吸気時に主として総鼻道を通り咽頭に下降するのが認められた。

経口腔アダプターを前歯、口唇、口唇前1 cm、2 cmの4ヶ所にて固定してエアロゾルの流入状態を見たが、前歯にて固定した時が一番良好であった。

考案

エアロゾル粒子の粘膜付着を左右する要因に

は1) 単位時間内の濃度 2) ネブライザーの施行時間 3) 粒子の大きさ等がありますが、第一の要因はネブライザーの施行時間であります。VTRで示したようにネブライザーを同一条件下で実施した場合、いずれの方法によっても経時的に特に中咽頭、口腔、さらに上咽頭に付着したエアロゾル粒子の濃度の増加が見られた。また粒子の大きさの問題もありますがこの点に関しては今回は検討を加えておりません。

また日常診療上、実際に患者さんに使用してもらう時に経口腔アダプターの位置と方向に関して述べるとVTRに示したごとく前歯で固定、口唇で固定、口唇前1 cmで固定、口唇前2 cmで固定の4ヶ所での結果では、中咽頭、舌咽頭部の濃度は前歯で固定した状態が最も効果的でありました。口唇より前方に行くに従い口腔内に吸入されるエアロゾルの量は減少し大部分は顔面にあたってしまいました。またアダプターの方向ですが、正中部で固定ではエアロゾル粒子は大量に送りこまれるが、左右に傾けて位置させると吸入量が著しく減量しました。

経口腔的に施行した場合の各部の付着濃度をジェットならびに超音波ネブライザーで比較検討した(表1)。

表1 エアロゾル粒子付着の比較

	ジェット	超音波
鼻腔 前部	+	2+
後部	+	2+
上咽頭	2+	3+
中咽頭 扁桃	2+	2+
咽頭後壁	+	3+
下咽頭 舌扁桃	±	+
食道入口部	2+	3+
喉頭蓋	±	+
披裂喉頭蓋谷	2+	3+
声帯	±	+
声門下	±	+
気管 前壁	±	+
後壁	+	2+

* 口腔内濃度(舌面)を基準とした。

* 鼻孔を閉鎖した状態である。

* この実験では嚥下運動を考慮していない。

まとめ

ジェットならびに超音波ネブライザーを用い、主として咽・喉頭部におけるエアロゾル粒子の流れについて VTR に記録し掲示しました。

- 1) ジェット・ネブライザーでは経鼻アダプターを用いた場合上咽頭部を目的とする。経口腔アダプターを用いた場合投与薬剤の濃度を上げる為には、比較的長時間にわたり施行する必要がある。
- 2) 超音波ネブライザーを経口腔的に使用した場合、鼻孔を開放した状態と閉鎖した状態との間に著しい差異を認め、鼻孔を閉鎖することにより鼻腔、上咽頭、喉頭等に濃度の上昇をみた。
- 3) 経口方におけるアダプターは前歯で固定すると効果的であった。口唇より離れる程咽喉頭部のエアロゾル量は著しく減少し、また正確に口腔内に向けなければならない。