

1424

アクスティックライノメトリーによる 鼻粘膜の腫脹と収縮機序の解明

(研究課題番号：05671412)

平成5, 6年度科学研究費補助金 一般研究C
—研究成果報告書—



平成8年2月

研究代表者 海野徳二
(旭川医科大学耳鼻咽喉科)

は し が き

外鼻孔は呼吸気の出入口であり、正常者では鼻呼吸が営まれるのが通常であるから、鼻腔通気度に関しては昔から興味を持たれてきた。従来は圧と流量を指標として評価するのが一般的な方法であったが、Acoustic Rhinometry が導入されてから、この方法も鼻腔の機能評価手段として注目を浴びるようになった。これは音波を利用して、入射波と反射波の関係から鼻腔の断面積を計測する方法で、本来非破壊的計測方法として発達し、人体に対しても応用されるようになった。被検者への侵襲が殆ど皆無で、測定時間も短いという利点をもっている反面、理想気体とか平面波とかいう、測定理論上の仮定を設けてあるので、計算された断面積と解剖的な実際の断面積との差がどの位あるのか、また、何故そこが断面積になるか解明されていないという欠点がある。この方法で扱われる断面積とは、鼻底ならびに鼻中隔に対して平行な軸に直交する面というのが一般的な考え方であるが、その根拠は薄弱である。

測定に際して系統的に発生する誤差や、解剖学的な部位との不明確さなど、十分に解明されていない測定理論を基盤にしている欠点はあるが、断面積という「広さ」の指標を鼻腔に導入したことは画期的であった。CT、MRI、鋳型を用いた「広さ」の研究も従来からあったが、測定方法の性格上、数に限りがあり、詳細な結果は得られていない。通気度という機能的な面と、鼻腔断面積という形態的な面との関連性の理解が進歩したのは、この測定方法に負うところが大きい。

鼻腔粘膜が収縮したり腫脹したりすれば、当然鼻腔断面積の変化を伴う筈であるから、

Acoustic Rhinometry を用いることによって、腫脹・収縮に関する新しい知見が得られることを期待した。それについては、本報告書に記載された論文ならびに論文原稿を参照していただきたい。平成6年から、日本鼻科学会に付随してAcoustic Rhinometry研究会が開催されるようになり、平成8年10月26日には、第3回研究会が仙台で行われる予定である。研究発表の増加と共に、再考せねばならない点が指摘され、新しい解釈も行われるようになった。国際的標準化委員会も既に発足している。数年前まではこの方法に対しての過大評価があったが、それも是正されつつあるし、動物実験用の測定装置も開発され、数社からの市販品も入手できるようになってきている。この方法が益々正当に発展することを期待している。

研究組織

研究代表者： 海野 徳二（旭川医科大学医学部耳鼻咽喉科）

研究分担者： 野中 聡（旭川医科大学医学部耳鼻咽喉科）

研究経費

平成5年度 800千円

平成6年度 600千円

計 1400千円

研究発表

(1) 学会誌等

Unno T, Nagano E, Nonaka S, Fujita T, Wada T, Tanida M:

Effects of Vasoactive Agents and their Antagonists Measured by Acoustic Rhinometry. Am J Rhinology 8:165-170, 1994

長野 悦治、野中 聡：生体鼻粘膜収縮の機序—Acoustic Rhinometryを用いて—
日耳鼻 97:2075-2084, 1994

野中 聡、海野 徳二：鼻呼吸時圧・流量曲線の検討。日鼻誌33:292-296, 1995

野中 聡 他：Acoustic Rhinometryによるモデル形態の観察
日鼻誌33:400-401, 1995

(2) 口頭発表

野中 聡 他：Acoustic Rhinometryによるモデル形態の観察

第1回Acoustic Rhinometry 研究会（広島）平成6年9月10日

谷田光弘 他：鼻腔の通気度と断面積

第96回日本耳鼻咽喉科学会（千葉）

横山 貴康 他：Acoustic RhinometryとRhinomanometry測定値との関係

第2回Acoustic Rhinometry 研究会（札幌）平成7年10月20日

Acoustic Rhinometry と Rhinomanometry との関連の基礎的検討

はじめに

鼻腔の通気度は、圧と流量とを同時に測定して評価する方法が従来用いられてきた。即ち、流量に比して鼻腔前後の圧差が大きければ、通りにくいことを示す。この圧差は、鼻腔に沿って一様の勾配で変化するのではなく、鼻腔の前方に集中していることが分かり、そこが通気度に最も強く影響を及ぼすと考えられている^{1, 2, 3, 4)}。一方、音響を用いた測定方法であるacoustic rhinometryが近年急速に進歩し、外鼻孔からの距離に応じた断面積が分かるようになり、それをarea-distance curveと呼んでいる。この測定方法によっても、鼻腔で狭い断面積を示す部位は前方に存在することになっている。このことから、「鼻腔は様々な断面積が連続した一つの管腔とみなすことができ、最小断面積を示す部分は前方に位置する」と言い換えることができる。若しそうであれば、このような管腔を模倣すれば、鼻腔と同じような空気の流れが生じ、同じような圧流量関係を呈するようになり、鼻腔の各部位での断面積を示すacoustic rhinometryが、従来のrhinomanometryの役割をも兼備するという仮定が成立するかもしれない。異なる断面積を組み合わせで作製したモデル管腔が、どのような通気性を示すかを明らかにし、上述の仮定が成立するかどうかを確かめるのが本研究の目的である。

方法

厚さ5mm及び10mmの正方形のアクリル板の4隅にボルトを通すための孔をあけ、任意の数のアクリル板を重ねてナットで両端を締め固定できるようにした。この板の正確な中央に3mmから10mmまで、0.5mm間隔で正円形の孔を設けた（以下抵抗板と呼ぶ）。任意に重ねて固定すると、断面積の異なる同心円を重ねたモデル管腔を得ることができた。抵抗板の両

端には内径20mm長さ100mmの管を接続できるようにし、その管の中央部に内径3mmの側管を接着して、そこから圧を導出するようにした（以下圧導出管と呼ぶ）。

一方の圧導出管にはハーバード・ポンプを接続し、1回換気量600cm³で換気した。換気数は孔の大きさによって適宜調節した。小さい孔では圧が大きくなるために、10回/分以下の換気数を、大きい孔では32回/分の換気数を用いた。他方の圧導出管は鼻腔通気度計（Rhino-Conductance Meter, Rion Co.Ltd.）に接続し、流量を計測した。圧導出管からの側圧も同じ通気度計で計測し、ハーバード・ポンプから測定器に向かう流れを呼気方向として表示した。通気度計の出力端子からパーソナルコンピュータ（PC 9801, NEC）に接続し、圧流量曲線の全体を比較して、その平均値をパーセント表示できるようにした⁵⁾。標準とする曲線の値を分母にすると、コンダクタンスの比較になるので、分子として抵抗の比較を計算するようにした。装置のブロックダイアグラムを図1に示す。抵抗板の重ね方は種々に設定したが、それぞれの実験系で用いた最小の断面積で、厚さ10mmの抵抗板を圧導出管に直結して得られた圧流量曲線を標準曲線として使用した。

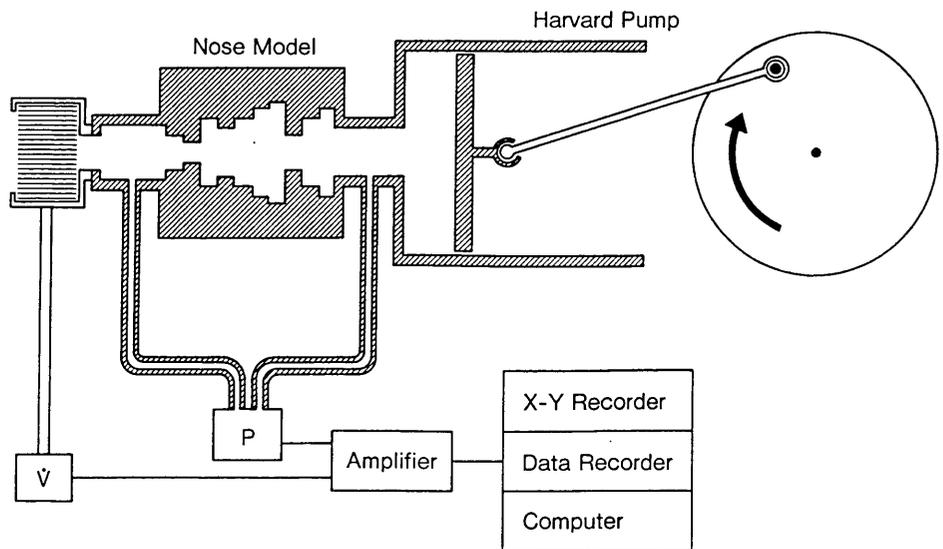


図1 測定装置のブロックダイアグラム

結果

1. 間隙の通気抵抗

直径 3mm から10mm の抵抗板の、50,75,100,150,200 Paでの抵抗値の通気度計表示、ならびに6mmでの抵抗値を基準としてそれぞれの測定値で計算したパーセント値、6mmの圧流量曲線を基準としたパーセント表示を表1に示した。

直径が 9mm になると換気数を増加させても圧は200 Paに達しなかった。10mmでは150 Paにも達しなかった。50,75 Paで計測した抵抗値から計算した比率は、他の計測点での比率と異なる傾向を示したが、100 Pa以上では概ね安定し、パーセント表示法による値と近似した。直径が10mmになると換気数を32回/分にしても圧の上昇が少なく、測定の度に値の変動が大きくなり、測定は困難になった。直径が 3mmの円の面積は 0.1cm^2 以下になり、6mm直径の抵抗板を標準にすると抵抗は500%近くに達することが示された。

2. 長さとお気抵抗との関係

3mm から9mm までの抵抗板の長さを種々に変えて検討した。それぞれの直径で10mmの厚さの抵抗板を基準として比較した(表2)。3mmおよび4mmの抵抗板では長さによる影響が比較的是っきりと認められたが、4倍の長さである4cmになっても通気抵抗は120~125%程度であった。5mmから9mmの抵抗板では長くなるにつれて抵抗が僅かに増加する傾向はあったが、4cmにしても10%程度の増加に過ぎなかった。長さを半分の5mmにすると、直径の小さい抵抗板では減少傾向を、大きいものでは増加傾向が認められた。

計測値 間隙		呼吸様式	計測点 (Pa)									
			呼気					吸気				
直径 (cm)	面積 (cm ²)		50	75	100	150	200	50	75	100	150	200
0.3	0.0707	(Pa/cm ² /s)	1.110	1.360	1.430	1.760	2.000	1.250	1.360	1.430	1.760	2.000
		%m(実測)	544.10	535.40	493.00	490.20	487.80	576.00	517.10	462.50	463.20	465.10
		%c(comput)	480.65					463.42				
0.4	0.1257		0.526	0.652	0.741	0.893	1.000	0.588	0.682	0.769	0.909	1.030
		%m	257.80	256.70	255.50	248.70	243.90	271.00	259.30	249.70	239.20	239.50
		%c	244.25					238.79				
0.5	0.1963		0.334	0.399	0.455	0.556	0.649	0.357	0.429	0.476	0.588	0.678
		%m	163.70	157.10	156.90	154.90	158.30	164.50	163.10	154.50	154.70	157.60
		%c	157.83					159.11				
0.6	0.2827		0.204	0.254	0.290	0.359	0.410	0.217	0.263	0.308	0.380	0.430
		%m	基準値 (100%)									
		%c										
0.7	0.3848		0.156	0.195	0.222	0.265	0.313	0.169	0.208	0.238	0.286	0.328
		%m	76.40	76.70	76.55	73.82	76.34	77.88	79.03	77.27	75.26	76.28
		%c	77.60					78.83				
0.8	0.5026		0.112	0.142	0.165	0.202	0.240	0.127	0.153	0.172	0.216	0.253
		%m	54.90	55.90	56.89	56.26	58.53	58.52	58.17	55.84	56.84	58.83
		%c	58.58					58.16				
0.9	0.6362		0.088	0.113	0.127	0.165		0.098	0.118	0.138	0.172	
		%m	43.13	44.48	43.79	45.96		45.16	44.86	44.81	45.26	
		%c	45.11					45.31				
1.0	0.7854		0.071	0.089	0.103			0.076	0.096	0.111		
		%m	34.80	35.03	35.51			35.02	36.50	36.00		
		%c	35.46					34.95				

表1 抵抗値とパーセント表示との比較

直径 (cm)	呼吸	長さ (cm)				
		0.5	1.0	2.0	3.0	4.0
0.3	呼気	77.86		112.03	120.20	125.23
	吸気	83.71		105.84	116.13	121.71
0.4	呼気	93.99	基	110.04	115.52	120.22
	吸気	96.12		101.29	108.28	114.17
0.5	呼気	98.70	準	107.96	110.99	115.54
	吸気	102.81		100.04	103.87	109.34
0.6	呼気	101.20	値	103.49	110.04	112.19
	吸気	96.06		95.28	101.18	108.21
0.7	呼気	107.01	(100%)	102.46	108.76	110.45
	吸気	101.22		98.69	99.95	103.44
0.8	呼気	111.68		104.53	109.71	112.22
	吸気	106.02		101.15	103.82	106.98
0.9	呼気	112.79		109.85	110.73	112.60
	吸気	107.57		95.59	97.27	99.50

表 2 長さと通気抵抗との関係

3. 2枚の抵抗板の間隔の差と通気抵抗の関係

直径を3mmから10mmまで、厚さ10mmの抵抗板2枚の間隔を、0,5,10,15,20,25,30,60,90mmに変化させて通気抵抗の変化を観察した(表3~11)。間隔は圧導出管と同じ内径の管を介在させた。向かって左側に換気ポンプを、右側に測定器を連結させた。表の縦軸には左側の抵抗板の直径を、横軸には右側のそれを記した。パーセント表示の基準は、2枚の抵抗板の内小さい方である。間隔が0の場合、つまり、直径の異なる2枚の抵抗板を相接して連結した場合(表3)、呼気では3-4、4-5、5-6のように右側の直径が1mm大きい際に、抵抗が小さくなった。直径に2mmの差がある場合にも同様の傾向があるが、3mmになると影響は少なくなり、4mmでは殆ど影響が認められなくなった。吸気では、4-3、5-4、6-5のよ

呼 気

$\begin{matrix} R_{mm} \\ L_{mm} \end{matrix}$	3	4	5	6	7	8	9	10
3	108.72	83.17	87.04	93.57	96.82	98.99	99.51	99.28
4	99.47	106.60	91.07	91.29	93.66	97.09	99.96	100.86
5	103.92	101.29	107.02	88.19	89.34	99.47	99.02	100.87
6	100.57	101.60	101.02	107.14	93.69	90.62	93.78	97.08
7	100.60	101.31	100.89	101.49	104.10	91.20	88.96	91.31
8	101.68	103.36	101.26	100.08	99.31	106.32	93.71	90.87
9	103.39	101.54	101.62	99.37	98.20	99.60	103.85	93.73
10	102.30	103.18	101.00	99.45	98.53	98.63	100.13	106.26

吸 気

$\begin{matrix} R_{mm} \\ L_{mm} \end{matrix}$	3	4	5	6	7	8	9	10
3	111.84	98.88	98.29	98.82	99.64	100.51	100.96	101.55
4	88.31	107.63	97.65	94.79	98.45	99.24	100.66	101.52
5	91.18	88.72	107.72	101.34	102.60	103.42	103.49	104.77
6	94.87	89.52	88.98	105.64	100.07	98.55	97.37	97.84
7	98.33	93.40	89.16	91.55	104.72	99.59	98.27	96.32
8	101.57	98.50	92.15	87.91	90.98	106.54	99.20	97.46
9	103.55	99.94	96.85	91.18	88.04	90.68	103.02	99.39
10	104.89	100.93	99.79	94.10	90.74	86.99	92.12	103.11

表3 間隔0mmの場合の通気度の変化 (%表示)

呼 気

$R_{mm} \backslash L_{mm}$	3	4	5	6	7	8	9	10
3	113.67	83.65	85.36	91.70	97.16	99.22	101.04	101.91
4	101.21	108.29	85.48	82.75	88.12	91.22	94.53	96.63
5	100.92	99.78	105.97	82.58	81.18	84.30	88.75	91.50
6	97.92	97.82	97.96	104.10	86.44	81.52	83.47	87.13
7	99.99	98.15	97.01	98.69	104.89	92.90	86.89	88.80
8	98.57	97.06	96.05	95.21	96.89	104.56	88.14	83.71
9	98.72	97.36	96.99	95.03	94.93	99.18	102.44	90.99
10	99.78	97.28	96.71	95.91	94.04	94.38	96.19	105.54

吸 気

$R_{mm} \backslash L_{mm}$	3	4	5	6	7	8	9	10
3	120.98	105.74	104.97	105.23	106.62	106.74	106.93	107.73
4	88.84	111.85	102.90	97.97	98.83	98.26	99.71	99.91
5	84.39	87.94	107.53	96.67	97.29	97.44	97.47	96.59
6	89.49	82.51	88.40	108.01	102.55	101.21	98.75	99.80
7	92.89	86.32	86.13	92.30	108.61	104.46	100.64	101.00
8	95.28	90.24	86.91	85.83	92.52	107.21	98.75	95.92
9	99.25	92.92	91.06	87.09	85.76	92.53	112.77	105.49
10	100.11	94.64	93.56	89.73	85.90	84.92	99.44	108.18

表4 間隔5mmの場合の通気度の変化 (%表示)

呼 気

$R_{mm} \backslash L_{mm}$	3	4	5	6	7	8	9	10
3	125.33	91.48	86.62	90.19	95.46	97.94	101.75	102.35
4	107.64	118.76	94.36	86.66	88.34	90.74	94.72	96.48
5	107.12	105.47	116.08	92.19	86.10	85.96	90.48	92.39
6	100.71	102.99	106.41	115.55	99.64	90.76	88.60	90.28
7	100.53	102.28	104.60	106.07	115.26	98.01	89.23	87.02
8	102.22	100.98	103.13	102.22	106.05	113.33	97.43	91.16
9	101.33	100.91	103.29	100.31	103.14	108.28	111.84	100.86
10	101.48	100.58	102.49	100.73	102.95	104.46	106.40	119.50

吸 気

$R_{mm} \backslash L_{mm}$	3	4	5	6	7	8	9	10
3	129.31	109.48	107.57	104.91	106.96	107.01	107.57	108.22
4	94.58	119.77	107.99	102.55	101.49	101.09	101.36	101.24
5	87.21	93.48	115.20	102.29	98.95	99.18	97.56	99.85
6	86.39	84.60	93.91	112.63	106.03	99.97	99.23	98.21
7	89.45	84.82	87.29	94.61	107.85	100.37	95.96	93.84
8	91.31	87.41	87.54	86.54	95.29	109.52	102.49	97.92
9	94.35	90.99	87.36	84.21	87.42	95.69	107.21	101.19
10	95.70	92.98	91.43	85.24	84.40	85.59	91.99	106.49

表5 間隔10mmの場合の通気度の変化（%表示）

呼 気

$R_{mm} \backslash L_{mm}$	3	4	5	6	7	8	9	10
3	140.67	102.39	92.42	91.17	92.58	96.67	98.79	101.16
4	115.77	127.91	99.54	89.84	88.92	89.31	92.21	94.63
5	107.79	111.63	124.77	99.12	92.05	90.73	91.77	94.94
6	106.46	106.36	111.39	123.97	106.25	96.37	93.55	93.31
7	105.98	104.97	106.99	112.90	124.60	104.63	95.51	91.16
8	106.91	104.59	105.91	106.24	113.21	121.48	102.29	99.70
9	105.12	107.24	107.30	107.48	108.11	117.72	121.65	106.17
10	107.45	106.68	107.58	105.25	105.51	111.68	115.99	101.89

吸 気

$R_{mm} \backslash L_{mm}$	3	4	5	6	7	8	9	10
3	136.54	106.89	100.90	99.92	98.83	98.76	98.97	98.47
4	102.03	121.40	105.82	98.77	97.02	96.54	97.13	96.49
5	91.97	97.51	116.61	102.47	98.63	97.80	97.56	98.15
6	88.93	87.76	94.83	110.81	105.51	98.67	96.84	96.49
7	89.08	86.21	88.35	96.38	109.05	100.43	97.25	94.75
8	90.02	85.99	86.21	88.22	94.79	109.31	102.31	98.15
9	93.72	90.02	91.24	85.93	87.74	95.89	105.57	98.45
10	95.72	91.37	92.19	85.35	85.28	89.06	94.25	90.72

表6 間隔15mmの場合の通気度の変化 (%表示)

呼 気

$\begin{matrix} R_{mm} \\ L_{mm} \end{matrix}$	3	4	5	6	7	8	9	10
3	142.47	104.56	97.57	94.52	93.84	95.18	97.13	100.07
4	118.77	133.78	105.40	93.65	91.84	91.61	93.22	95.44
5	111.65	116.01	129.92	102.94	95.59	93.18	93.07	94.72
6	109.95	109.88	114.46	128.86	109.74	99.55	95.62	94.84
7	106.84	106.71	110.03	115.67	127.21	109.45	98.82	94.04
8	106.53	105.96	108.19	109.23	116.61	124.81	108.70	99.92
9	106.12	105.35	105.28	107.47	111.83	116.97	126.79	110.60
10	105.34	104.74	104.77	105.11	109.53	110.36	118.56	131.84

吸 気

$\begin{matrix} R_{mm} \\ L_{mm} \end{matrix}$	3	4	5	6	7	8	9	10
3	144.05	113.32	106.91	104.23	102.29	103.65	103.80	104.19
4	110.13	126.35	109.70	101.57	99.81	99.60	98.28	98.84
5	96.14	101.67	121.18	104.10	102.63	99.70	100.30	98.99
6	93.99	91.61	99.23	117.20	109.16	101.04	99.94	99.29
7	92.30	89.47	91.63	99.56	115.44	104.31	99.25	94.92
8	93.27	88.65	90.13	91.43	96.49	114.69	104.79	100.38
9	93.88	89.98	88.90	87.99	92.32	98.59	111.36	101.26
10	94.07	90.10	88.24	85.93	86.58	92.31	97.91	108.27

表7 間隔20mmの場合の通気度の変化 (%表示)

呼 気

$R_{mm} \backslash L_{mm}$	3	4	5	6	7	8	9	10
3	148.69	108.64	97.72	92.41	91.95	92.65	94.91	95.88
4	121.87	140.15	113.35	101.56	97.85	97.09	98.75	98.67
5	113.41	118.26	132.17	105.39	98.75	93.83	92.98	93.66
6	109.58	109.43	115.42	126.28	109.35	98.30	93.02	91.39
7	110.95	108.58	110.93	117.59	124.64	106.84	98.43	95.02
8	108.64	107.53	108.93	111.54	114.40	127.42	109.14	100.98
9	108.62	106.23	107.19	107.65	109.95	116.92	125.89	112.65
10	108.03	105.50	105.10	106.10	107.06	109.22	115.93	129.83

吸 気

$R_{mm} \backslash L_{mm}$	3	4	5	6	7	8	9	10
3	140.41	104.58	98.79	95.39	94.29	93.93	93.72	93.54
4	109.90	129.05	113.00	102.08	101.17	100.07	99.89	98.87
5	99.51	101.36	122.97	103.46	98.82	95.87	94.66	94.42
6	96.73	89.95	99.62	117.13	105.46	97.22	93.74	92.65
7	95.30	87.60	94.26	102.97	113.09	104.13	96.11	94.38
8	95.58	85.58	90.81	95.85	99.76	112.39	104.10	100.43
9	95.39	86.19	88.98	91.23	91.08	102.95	110.16	103.83
10	96.23	86.27	89.54	90.82	88.46	92.32	96.26	109.53

表8 間隔25mmの場合の通気度の変化 (%表示)

呼 気

$R_{mm} \backslash L_{mm}$	3	4	5	6	7	8	9	10
3	148.81	111.80	101.82	97.00	96.15	96.28	96.59	97.60
4	118.59	141.10	112.39	99.90	97.37	95.47	95.59	95.78
5	110.06	118.54	135.27	110.04	102.05	98.33	96.59	96.87
6	106.06	110.40	115.87	130.16	114.95	104.35	99.46	97.17
7	105.48	107.54	110.71	117.74	125.82	109.33	100.48	96.42
8	104.86	106.62	108.18	109.78	114.04	129.03	114.47	103.72
9	104.12	106.27	106.31	106.94	109.09	118.01	125.15	109.95
10	103.46	105.57	104.91	104.72	105.58	110.61	114.21	122.86

吸 気

$R_{mm} \backslash L_{mm}$	3	4	5	6	7	8	9	10
3	159.32	119.13	109.91	106.06	105.20	104.49	104.77	106.02
4	118.70	140.70	116.35	109.17	105.48	104.44	103.93	102.25
5	108.23	113.67	135.16	118.66	113.08	108.00	108.58	108.98
6	103.24	102.04	108.32	127.78	115.30	107.13	103.76	102.38
7	101.91	98.30	100.48	109.44	125.94	113.95	108.17	105.03
8	100.35	96.72	96.32	102.50	110.40	131.11	116.47	110.36
9	100.46	96.54	96.62	98.54	101.05	110.36	125.52	112.47
10	101.39	97.65	96.37	93.75	95.09	102.15	107.59	121.67

表9 間隔30mmの場合の通気度の変化 (%表示)

呼 気

$R_{mm} \backslash L_{mm}$	3	4	5	6	7	8	9	10
3	148.06	117.82	108.13	104.20	103.51	101.85	102.16	101.81
4	116.70	140.53	116.22	103.56	99.13	97.37	96.31	96.10
5	101.05	105.50	131.85	108.78	100.38	96.75	94.82	93.88
6	103.40	112.70	112.50	130.82	111.74	102.82	96.87	93.71
7	100.93	103.76	106.54	117.68	133.09	118.63	107.24	101.89
8	101.32	103.20	103.47	109.32	117.39	130.38	112.79	104.25
9	100.42	101.91	101.90	104.96	109.46	117.99	130.07	110.71
10	104.32	103.16	103.94	103.81	107.54	110.86	116.67	126.81

吸 気

$R_{mm} \backslash L_{mm}$	3	4	5	6	7	8	9	10
3	151.73	123.44	113.66	109.35	108.01	107.58	106.59	106.95
4	116.50	140.19	118.28	105.14	102.89	101.25	96.59	97.31
5	102.59	105.80	135.40	113.50	106.30	103.69	100.97	101.35
6	105.46	116.44	114.64	137.75	122.56	113.22	107.96	105.62
7	100.42	101.93	106.37	122.33	135.06	123.66	111.04	106.82
8	99.50	98.47	100.20	108.94	114.80	125.57	109.79	104.86
9	99.06	98.79	96.77	102.78	106.35	113.92	136.73	119.25
10	101.18	100.03	96.83	98.91	103.74	106.07	112.81	123.88

表10 間隔60mmの場合の通気度の変化 (%表示)

呼 気

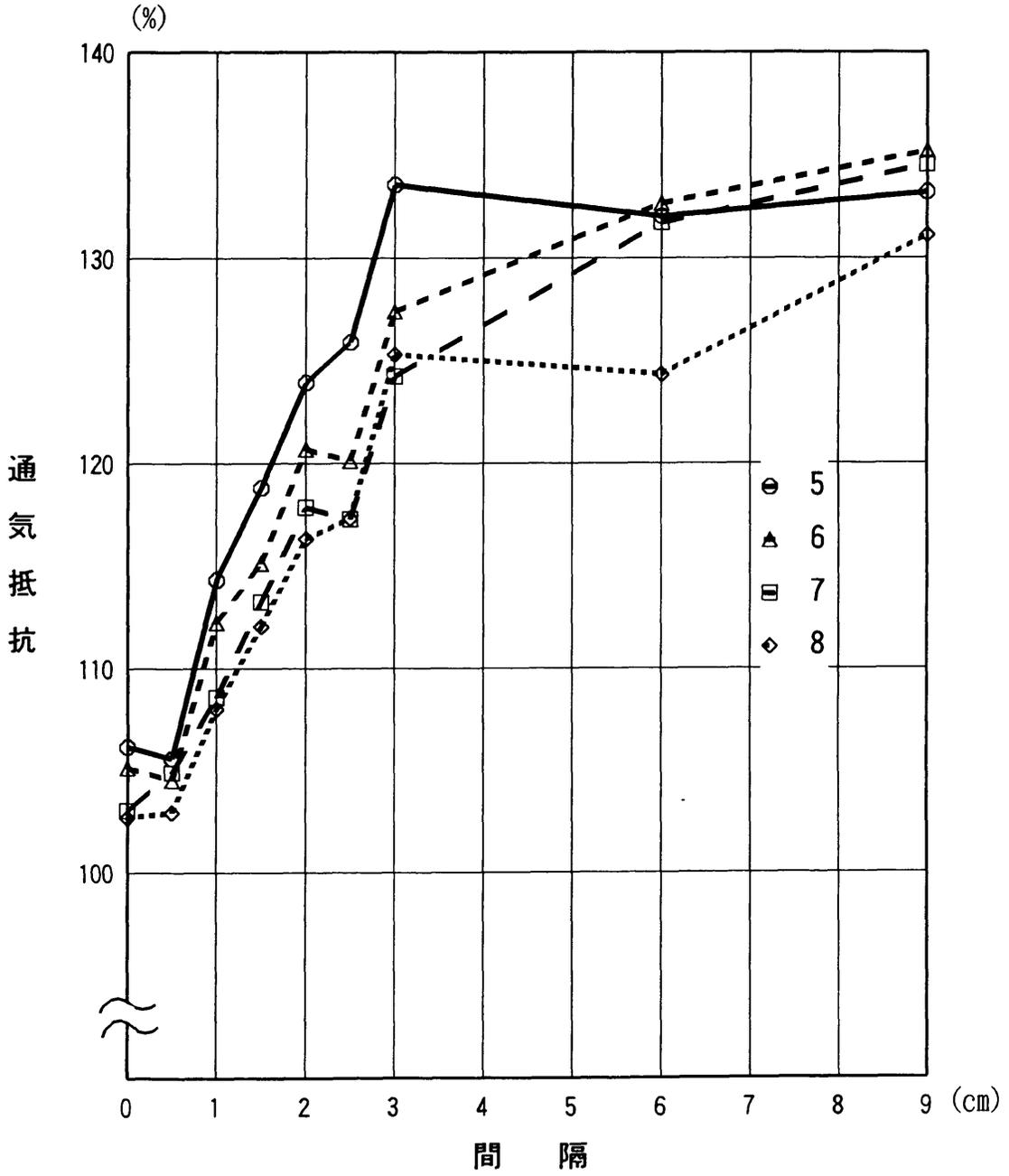
$R_{mm} \backslash L_{mm}$	3	4	5	6	7	8	9	10
3	142.59	111.44	102.34	99.55	98.78	98.54	98.07	98.04
4	111.09	142.10	111.95	101.69	98.10	96.57	95.62	94.99
5	107.30	114.24	132.91	111.72	102.91	99.47	96.86	100.79
6	104.00	104.77	112.63	133.92	114.88	106.13	100.45	97.59
7	103.42	101.90	106.94	119.49	136.27	122.03	111.45	105.80
8	103.08	100.48	102.93	109.87	118.85	131.91	116.45	107.55
9	102.26	99.35	101.25	105.61	110.76	120.19	134.44	118.27
10	103.10	100.57	100.79	102.26	106.31	112.26	120.69	137.63

吸 気

$R_{mm} \backslash L_{mm}$	3	4	5	6	7	8	9	10
3	153.61	119.77	112.43	105.47	104.71	104.28	104.07	102.63
4	114.24	141.86	116.58	104.67	101.22	98.76	97.95	97.84
5	111.24	117.44	136.75	111.54	106.63	103.68	100.18	99.39
6	107.51	105.23	114.24	139.79	123.14	114.09	106.74	105.09
7	106.59	100.60	106.93	123.19	137.46	124.20	111.96	107.54
8	106.12	99.38	103.13	114.10	116.15	137.97	117.34	110.60
9	105.47	99.44	97.83	108.44	111.72	120.03	144.98	123.46
10	106.09	99.00	99.39	102.91	105.84	109.55	120.87	130.85

表11 間隔90mmの場合の通気度の変化（%表示）

図2 間隙の差による通気抵抗の増加



うに、左側が大きい場合に同様の現象が観察された。これらのことから、下流側に僅かに差のある大きめの間隙がある場合には、通気抵抗が小さくなることが分かった。

表4は5mmの間隔をおいて接続した場合であるが、呼気でも吸気でも上述の効果はやや強まって認められた。表5は、10mmの間隔での接続を示す。下流に置く間隙の直径は、3-5、4-6、5-7のように、2mmの差がある場合に最も強い影響がみられた。また、同径の抵抗板が2枚用いられている場合には、呼気のすべてで通気抵抗は10%以上上昇しているが、吸気では、直径が大きい場合には、抵抗の上昇は10%以下に留まっている。間隔が15mmである表6も同様の影響がみられるが、直径が大きい間隙が上流にある場合に、抵抗が増加する傾向もみられる。間隔が20mm、25mmになると、同じ直径を2枚使用した場合の抵抗の増加が吸気より呼気で一層はっきりしてくる。吸気では、下流にある直径の大きい間隙の影響が窺われるが、呼気でははっきりしない(表7、8)。

間隔が30mm以上になると、下流に存在する間隙の影響は殆ど認められなくなり、同直径が2枚使用された場合の通気抵抗の増加率も安定してくる(表9,10,11)。孔の直径が5,6,7,8mmの4種類の抵抗板を用いて、この増加率と間隔との関係を図に示した(図2)。流れの方向による差を除くために、呼気と吸気とを総合して評価した。間隔が0の場合、即ち同直径の抵抗板の厚さが2倍になったときには、前段階の実験でも明らかなように、抵抗は殆ど変化しない。間隔が5mmでもこの状態を保つ。間隔が10mmから30mmまでは、長くなるにつれて抵抗の増加率も上昇するが、それ以上長くなっても増加率はあまり変化せずに130~140%程度であった。

4. 直径の異なる間隙を重ねた場合の通気抵抗の変化

順 序	枚 数	呼 気 (%)	吸 気 (%)
10-9-8-7-8-9-10	7	72.79	73.74
7-8-9-10-9-8-7	7	111.59	114.16
10-9-8-7	4	82.24	99.30
7-8-9-10	4	100.37	83.04

表12 径の異なる孔の配列順による通気抵抗の変化

表12は、直径7mmの間隙を最小とし、1mmづつの変化で抵抗板を重ね、通気抵抗の変化を観察したものである。上段は中央が最小断面積になるように順に重ねた場合で、通気抵抗は70%近くまで減少している。逆に、中央が最大断面積になるように配列し、両端を最小断面積の7mmとすると、抵抗は呼気、吸気共に110%強に増加した。前段階の実験では、同直径の抵抗板を30mm以上の間隔で並べた場合には、抵抗は130~140%に増加する筈であるが、110%程度に留まったのは、径の変化が急激ではなく1mmづつ徐々に変化したためであろう。左から右にかけて直径を小さくしていくと、呼気の抵抗減少分は20%近くあるが、吸気では殆ど変化しない。左から右にかけて直径を大きくしていくと、呼気では抵抗の変化は殆どないが、吸気での減少分は20%近くになる。このことは、下流の直径の増加が通気抵抗に影響を及ぼして、減少するように作用することを示すものである。しかし、表の最上段に示すように、左右対称に径が増加している場合に最も抵抗が小さくなるので、上流に位置する断面積の径は、単独では影響しないとしても、全体の流れに対しては影響を示すものと思われる。

最小径が4,5,6,7 mmの抵抗板を用いて、重ねる長さ、径の差、枚数などを変えて観察し

1単位の長さ(mm)	最小径(mm)	単位数	並べ方	呼気 (%)	吸気 (%)
10	4	10	径を1mmずつ増加	74.19	98.86
	5			70.64	91.36
	6			73.66	95.23
	7			73.77	92.38
10	4	10	径を0.5mmずつ増加	77.11	101.11
	5			73.02	94.00
	6			76.39	99.15
	7			75.55	96.39
20	4	10	径を1mmずつ増加	82.27	106.64
	5			76.12	95.44
	6			76.36	99.23
	7			77.67	101.05
10	4	5	径を2mmずつ増加	81.11	98.77
	5			79.57	94.22
	6			80.26	98.66
	7			80.43	95.44
20	4	5	径を2mmずつ増加	81.85	106.49
	5			78.16	96.83
	6			79.66	99.37
	7			80.73	101.43
10	4	5	径を3mmずつ増加	90.88	99.74
	5			87.29	95.21
	6			87.56	99.46
	7			89.28	99.51
20	4	5	径を3mmずつ増加	81.28	100.83
	5			84.76	99.36
	6			82.14	99.56
	7			83.87	103.48
10	4	16	径を1mmずつ19mmまで増加	75.54	101.25
	5	15		70.75	91.12
	6	14		73.43	96.72
	7	13		75.02	97.36

表13 種々の組合せでの通気抵抗の変化

た結果を表13に示す。最小径を左端とし、徐々に径を増加するようにしたので、通気抵抗の減少効果は呼気のみにもみられ、吸気ではあまり変化していない。呼気では何れも抵抗減少が観察されているが、多少の程度の差がある。直径を0.5mmずつ増加しても、1mmずつにしても、通気抵抗は70%強に減少してあまり差はないが、2mmずつ増加すると80%程度となり、3mmずつ増加すると90%近くになってしまう。抵抗板を1枚ずつ用いても、同直径のものを2枚重ねて厚さ20mmとして用いても差は大きくなかった。また、圧導出管の直径である20mmまで1mm段階で増加させていっても、殆ど同様の減少率であった。

5. 間隙の中心軸がずれた場合の通気抵抗の変化

軸をずらしたものでも、面積は変わらないので、1枚だけ圧導出管に接続した場合は、この間隙が生ずる抵抗は通常の中心軸を有する間隙と全く変わらない。両者を同時に用いると、相接する面での面積は減少する。直径8,9,10mmの間隙を用いて、その軸を水平方向にずらして2枚重ねたときの変化率を表14に示した。1,2,3,4mmずらした場合の相接する部

直径(mm)	面積(mm ²)	軸ズレ(mm)	共通面積(mm ²)	呼気 (%)	吸気 (%)
8	50.27	1	42.29	109.48	111.93
		2	34.43	134.07	131.46
		3	26.84	185.59	182.89
9	63.62	1	54.64	105.1	112.7
		2	45.77	119.96	131.5
		3	37.13	163.94	173.46
10	78.54	1	68.56	104.04	113.52
		2	58.67	116.25	124.47
		3	48.99	149.09	166.47
		4	39.63	213.16	239.72

表14 軸ズレによる通気抵抗の変化

分の面積も記入してある。使用した間隙の直径によって、本来の面積からの減少率は異なる。通気抵抗の増加率は、この相接する部分の面積を有する間隙の通気抵抗と近似していた。8mmの間隙では、呼気、吸気共に抵抗の増加率には殆ど差がなかったが、9mm、10mmでは吸気の抵抗増加率がやや大きかった。直径が大きくなると、それを通過する際に生ずる圧差はかなり小さく、基準曲線の決定も、変化率の計算も困難になるので、その影響を考慮に入れねばならないので、理由ははっきりしない。軸を1mmづつずらして何枚も重ねたときの変化を表15に示す。

直径(mm)	並べ方	枚数	呼気 (%)	吸気 (%)
8	0-1-2	3	123.46	127.06
	0-1-2-1-0	5	116.64	118.74
	1-2	2	109.90	108.56
	1-2-3	3	116.57	114.08
	0-1-2-3	4	153.84	164.30
	0-1-2-3-2-1-0	7	125.06	126.39
	1-2-1	3	104.82	114.40
9	0-1-2-3	4	139.21	152.37
	0-1-2-3-2-1-0	7	117.96	129.91
10	0-1-2-3	4	139.60	144.76
	0-1-2-3-2-1-0	7	118.91	127.24
	0-1-2-3-4	5	195.57	202.96
	0-1-2-3-4-3-2-1-0	8	122.02	129.62

表15 複数枚の軸のズレによる通気抵抗の変化

直径8mmの抵抗板については、0-1-2と3枚重ねた場合は、0-1,1-2と2枚重ねた場合より抵抗は大きかった。しかし、0-1-2-1-0のように軸のずれを元に戻すように重ねると、枚数は増えるが抵抗の増加率は明らかに減少した。呼気と吸気との差は殆どなかった。9mm、10mm径の場合も、軸を元に戻すように並べた場合は、通気抵抗の増加率は明らかに減少した。10mm径の抵抗板では、4枚重ねたものより5枚重ねたものの方が明らかに抵抗増加率は大きかった。

考案

鼻腔は、殊にその外側壁が複雑な形態をなしており、ここを空気が通過する際にはかなりの力を要し、また、それが加湿、加温などの機能に有利に作用すると考えられてきた。鼻腔通気度検査法は、どの程度の力で空気が通過するかを測定する検査であり、鼻腔全体でどうであるかを判定する。前述したように、今野¹⁾、Haightら²⁾、Jonesら³⁾、Hirschbergら⁴⁾の研究によると、鼻腔の前方に力を要する部分が集中していることが、鼻腔中の圧の勾配を測定することによって証明されている。Hirschbergによると、未処理の鼻腔では外鼻孔から4cmまでの部位に78%の抵抗が集中し、血管収縮剤を用いて粘膜を収縮させると、全体としての抵抗も小さくなるが、外鼻孔から2cmまでの部位に88%の抵抗が集中することが示されている。

Acoustic Rhinometry のデータによると、鼻腔内の最も狭い断面積は鼻腔の前部に存在している。Grymerらの報告によると⁶⁾、コントロールに用いた21名の正常者の最狭部は平均で、外鼻孔から2.32cmの部位で、面積は0.70 cm² となっている。Lendersらの134例の平均では、外鼻孔から1.3cmの部位に第1の狭部があり、その面積は0.73±0.2 cm²、第2の狭部は3.3cmの部位で、1.1±0.29 cm²であった⁷⁾。われわれの70名(男36、女34)140側の平均値は2.1cmの部位で、0.77±0.25 cm²であった⁸⁾。外鼻孔からの距離には多少の差があるが、最小断面積の値は約0.7 cm²という結果であり、鼻腔抵抗が前部で形成されるという説明にも用いられている。

鼻腔通気度検査で得られる圧流量曲線と、間隙を通過する際のそれとは、曲線の形が非常に似ていることが分かっている^{9, 10)}。また、圧流量曲線から求められるコンダクタン

スの比率と断面積とが正比例の関係にあることも報告した¹¹⁾。これらのことを考慮に入れて鼻腔の断面積と通気度との関連を検討するためには、次のような点を明らかにしなくてはならない。第一に鼻腔は種々の断面積の連続と考えられるが、その各々の断面積が形成する抵抗の総和ではないことは確実であり、そうすると、鼻腔の通気度を規定しているのはどの部分か。最小断面積だけか。あるいは他の部分も関与するのか。第二には、若し関与するとすればどのような影響を及ぼすのか、である。

最小断面積が通気回路中に存在し、他の部分は十分な広さの管である場合には、そこが通気度を決定する。しかし、この断面積の部分が長くなっても通気抵抗にはあまり変化はおきない。今回の実験のように急激に断面積が変化する場合には、そこに入口部流 (orifice flow) として乱流が存在するから、通気抵抗の大部分はこの乱流に起因するものと思われる。同じ断面積の部分が、10mmから20mm30mmと延長しても同径の部分には乱流は生ずることなく、従って通気抵抗の増加は少なかったと考えられる。

複数の抵抗板の断面積を種々に変え、その組み合わせも種々に変えて測定した通気抵抗の変化は、興味ある結果を示した。同じ断面積の抵抗板を2枚並べるとき、その間隔が30mmを越えると通気抵抗は1.3倍から1.4倍に増加する。図2の曲線aは、一箇所の間隙を通過する際の圧流量曲線である。二枚を別々に通過するときには、同じ断面積であるからどちらを通過する際も同じ圧流量曲線となる。二箇所の間隙を連続して通過する場合には、流量は変わらずに圧のみが2倍となるから、圧流量曲線はbのようになる。つまり、 $\dot{V}_a = \dot{V}_b$ で、圧は $P_b = 2 P_a$ であるから、流量の或る点を基準として比較すれば抵抗は2倍になっている。このa,b二つの曲線を圧の或る点を基準として比較すると、図の \dot{V}'_a 、 \dot{V}'_b で示し

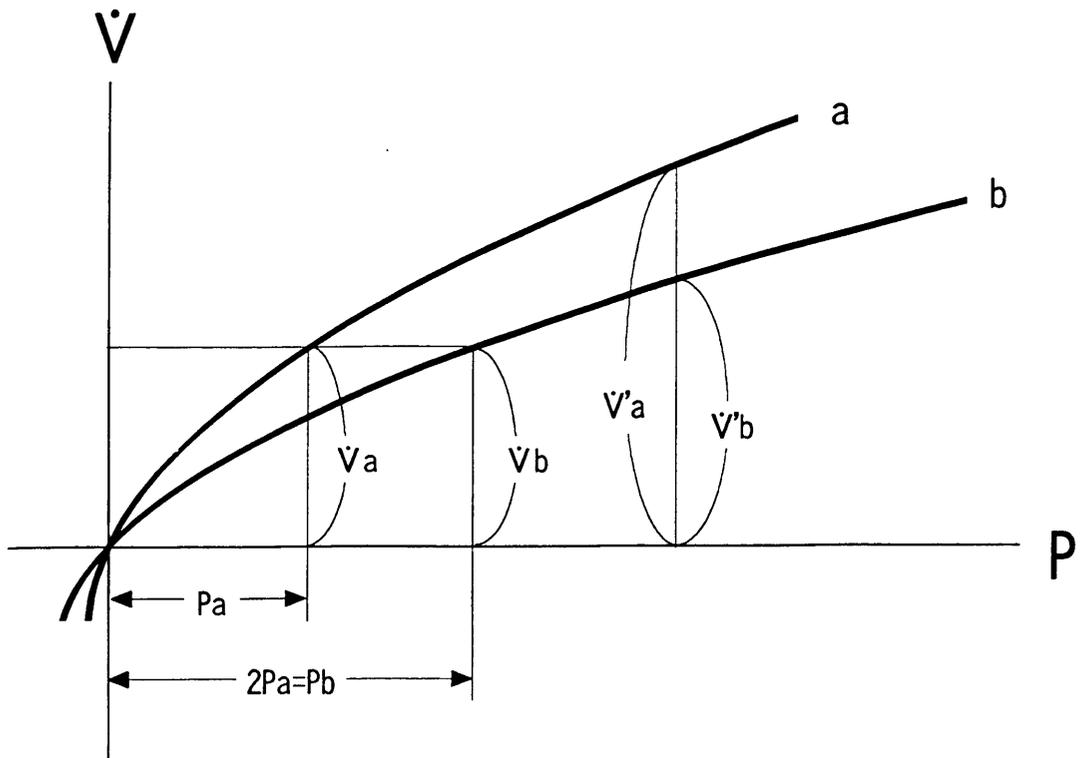


図 3 2枚の同径の間隙を通る圧流量曲線

たように0.5にはならず約 0.7である。この逆数は1.4で、圧を基準点として通気抵抗を比較すると130から140%になる理由である。この値は圧の基準点を大きくしていくと僅かに増加する。しかし、その程度が小さいのでどこで比較しても約1.4倍として差し支えない。このように、比較する曲線は同じであっても、流量を基準にするか、圧を基準にするかで通気抵抗の比率は異なってしまう。現在では、流量の或る値を基準点として鼻腔抵抗を計算する人は殆どないが、測定器の数値表示には $250\text{cm}^3/\text{sec}$ や $500\text{cm}^3/\text{sec}$ での抵抗値も記されている。圧の或る点を基準とした抵抗値と混同してはならない。

同じ断面積の間隙を直接 2枚重ねても、通気抵抗は殆ど変わらないことについては前述したが、断面積が異なる複数枚を重ねると変化を示す。実験装置の構造から、空気の流れ

は類サイン波で、周期的に流れの方向を変換する。つまり、間隙の上流と下流とが、呼気と吸気との場合と同じように変換する。断面積の広い抵抗板が下流に存在すると、通気抵抗は減少した。この効果は、密着した場合のみではなく、20mm位までは程度を減少させながら存在した。上流にある広さの異なる間隙の影響は明らかではなかった。抵抗板の枚数を増やしていくと、下流のやや広い抵抗板の影響は一層明瞭になった。

これらの効果は、流体の divergence (発散)、convergence (収束) と関係がある。

Hyattは、気道を空気が流れる際に生ずる抵抗を、frictional resistance と convective resistance に分けて説明している¹²⁾。前者は摩擦であって、粘性のある流体が管の中を流れる際には、管壁と流体ならびに流体粒子間に生ずるものである。後者は流体粒子の加速のために費やされるもので、管が細くなる場合には粒子の加速度は大きくなってエネルギー消費が増加し、逆に管が太くなる場合にはエネルギー獲得となる。間隙通過に際しては、frictional resistance克服のための圧差だけではなく、convergenceに対しては加算的な、divergenceに対しては引き算的な圧差の影響を受けることを示したものである。

Finucane も、pneumotachograph の上流または下流にとりつける錐形の管に、同様の作用のあることを述べている¹³⁾。今回の実験では、直径の異なる間隙の積み重ねによって、divergentな流れにすると通気抵抗の減少がみられた。convergent な流れに対する抵抗の増加ははっきりしなかった。左右対称に、convergent-間隙-divergent の順に並べたときに抵抗は最小になった。抵抗板の積み重ねという、平滑でない段階的な断面積の変化であるから、当然orifice flowとしての乱流の発生があり、その影響も加味した解釈が必要と考えられた。

鼻腔を異なる断面積の連続として捉えるとき、上述の効果を無視することはできない。最小断面積の存在部位は鼻腔の前方ではあるが、末端ではなく、外鼻孔に対しても、後方に向かっても増加の傾向を示している。いわば、convergent—最小断面積—divergentの形となり、最小断面積が有する通気抵抗よりも低いことが予想される。また、3 cm以上の間隔でもう1ヶ所に同じように狭い断面積があれば、1.3倍程度の通気抵抗の増加が見込めるが、3 cm以内ではそれ程の増加はない筈である。呼気と吸気での通気抵抗の相違は、吸気時の鼻翼の陥凹がその一因と考えられていたが、最小断面積の前後の断面積の並び方による影響も考慮に入れるべきである。鼻腔の断面積の連続タイプは、通気抵抗を減少させる面で顕著であり、増加させる作用は少ないようである。萎縮性鼻炎で、鼻腔空間の広い患者が鼻閉を訴えることは良く知られており、われわれ自身の経験でも、上顎腫瘍を鼻腔側壁と共に摘出して広い空間となった患者が強い鼻閉を訴えたことから、上述の効果が推測される。

鼻腔の最小断面積は、従来はかなり狭いものと考えられていた。Bridgerは 0.5cm^2 と述べたが¹⁴⁾、それ以下の値を採用した報告も散見できる¹⁵⁾。前述したように Acoustic Rhinometry での測定では $0.7\sim 0.8\text{cm}^2$ となっている。この面積は、直径 10mm の円の面積に近い。32回/分の換気数でやっと測定できる程度の小さな通気抵抗を示す面積である。この抵抗が更にdivergence効果によって減少するとしたら、鼻腔抵抗は、現在測定されている値となるとは到底考えられない。Acoustic Rhinometry による計測値と、空気力学的な測定による断面積の値との間には差がある。

Acoustic Rhinometry では、音は理想気体中を平面波として伝わりと仮定している。鼻

腔内を平面波として伝わる際に、どのような軸に沿っているか想像すべくもないが、外鼻孔から鼻前庭を経て鼻腔に伝わる際にも、鼻腔内を後方へと伝わる際にも、今回の実験で用いた同心円の積み重ねを伝わるような直線ではないことは確かである。軸をずらした場合の通気抵抗の変化は、それによって起きる抵抗増加の可能性を確かめるためであった。同じ直径でも異なる直径でも、中心の軸をずらしたものを重ねると、ずらした距離が長くなるほど相接する部分の面積は小さくなるし、通気抵抗も増加する。1 mm ずつずらした抵抗板を重ねていくと更に抵抗は増加する。この場合の断面積の変化は、相接する部位でのみ減少し、次の瞬間には元の面積に戻っている筈である。1 mm ずつずらした抵抗板を 1 mm ずつ元に戻すように並べると、抵抗板の数は増えるが抵抗の増加分は少なくなる。相接する部分の面積の減少だけでは説明できないことである。厚さのあるアクリル板に間隙を設けた抵抗板の積み重ねであるから、断面積の変化は滑らかではなく、段階的である。また、生体のように粘液で覆われていることもなく、弾性もない。生体を完全に模倣したことにはならないから、このような単純な鼻腔モデルから結論を導くには無理があるが、鼻腔の通気抵抗は最小断面積だけによって決定されるものではなく、その前後の形態が大いに影響を及ぼしていることは確かであろう。どのような時に、どのような程度に影響があるのかは今回の実験だけでは分からないが、diverge する際の抵抗減少効果の存在は推定できることである。

Acoustic Rhinometry には方法上の仮定があり、どういう断面積を計測しているかが不明瞭である。外鼻孔からの解剖学的な軸は直線ではなく、屈曲していることは明らかであるのに、それについての検討はされていない。音響インピーダンスの変化部位から反射さ

れる音響に基づいて計算される断面積には、軸のずれのような影響が隠されて、実際より overestimate されている可能性を有している。これらの鼻腔の通気性に関する検査は、一方が他方を代用するのではなく、両方で鼻腔の情報を、より詳細に与えてくれるものと考えられた。

まとめ

種々の直径の孔をあけたアクリル板を単一、または複数枚を重ねて固定して換気を行い通気抵抗を測定した。抵抗は標準とした曲線と比較してパーセント表示により評価し、以下のような結論を得た。

- 1) 同じ直径の抵抗板を重ねて距離を長くしても、通気抵抗は殆ど変化しなかった。
- 2) 2枚の同じ直径の抵抗板の間隔を変えて換気するとき、3cm までは次第に通気抵抗は増加したが、間隔が3cm 以上になると130から140%の比較的安定した値を示した。
- 3) 重ねる抵抗板の径を徐々に大きくして、下流側の流れが divergent になるようにすると、通気抵抗は減少した。鼻腔の最小断面積の前後にも同じような作用があると考えられた。
- 4) 中心軸をずらした抵抗板を重ねると通気抵抗は増加した。相接する面積の減少だけでは説明できない機序が推測された。
- 5) 今回計測された断面積の通気抵抗を参照にすると、Acoustic Rhinometry で報告された平均的な最小断面積はかなり大きい値であった。Acoustic Rhinometry は従来の通気度測定法を兼用するものではないと結論された。

文 献

- 1) 今野 昭義：鼻内気流と鼻腔抵抗。第2編 Pneumotachometerを用いた左右別鼻腔通気度測定法・その基礎と臨床 日耳鼻会報 72:49-65,1969
- 2) Haight JSJ, Cole P: The site and function of the nasal valve. Laryngoscope 93: 49-55, 1983
- 3) Jones AS, Wight RG, Stevens JC, Phil D, Beckingham E: The nasal valve: A physiological and clinical study. J Laryngol Otol 102:1089-1094, 1988
- 4) Hirschberg A, Roithmann R, Parikh S, Miljeteig H, Cole P: The airflow resistance profile of healthy nasal cavities. Rhinology 33:10-113, 1995
- 5) 海野 徳二：パーセント表示型鼻腔通気度計。病態生理 10:304-310, 1991
- 6) Grymer LF, Hilberg O, Elbrønd O, Pedersen OF: Acoustic rhinometry. Evaluation of the nasal cavity with septal deviation, before and after septoplasty. Laryngoscope 99:1180-1187, 1989
- 7) Lenders H, Pirsig W: Diagnostic value of acoustic rhinometry: Patients with allergic and vasomotor rhinitis compared with normal controls. Rhinology 28:5-16, 1990
- 8) 海野 徳二編著：鼻呼吸障害の解析と機能回復。第3章 Acoustic Rhinometry. 文光堂：57-70ページ、1992
- 9) 海野 徳二、打越 進、川堀 真一、富山 俊一：鼻腔有効面積の測定について。日耳鼻会報：76:1060-1066, 1973

- 1 0) 海野 徳二、矢島 洋、林崎 勝武、小野寺 哲、吉田 良収：モデル実験による
鼻腔有効面積の測定。日耳鼻会報 81:1397-1402,1978
- 1 1) 野中 聡、谷田 光弘、中島 築、堀川 博志、海野 徳二：鼻呼吸時圧・流量曲
線の検討。日鼻科会誌 33:292-296,1994
- 1 2) Hyatt RE,Wilcox RE:The pressure-flow relationships of the intrathoracic
airway in man. J Clin Invest 42:29-39,1962
- 1 3) Finucane KE,Egan BA,Dawson SV:Linearity and frequency response of pneumo-
tachographs. J Appl Physiol 32:121-126,1972
- 1 4) Bridger CP:Physiology of the nasal valve. Arch Otolaryngol 92:543-553,1972
- 1 5) Scott WR,Taulbee DB,Yu CP:Theoretical study of nasal deposition.
Bull Math Biol 40:581-603,1978