

5. 高圧および低圧環境でのFlow-volume曲線の変化

太田 保世* 鈴木 国功* 小高 康子*
折原 芳男** 広瀬利美雄**

目的

気道内のガス運搬のメカニズムとしてのConvection, Diffusion, そして最近注目されているConvective diffusionには, 気体の密度, 粘性など, 物性の差の関与が知られている。他方, 気道における換気のdynamicsにも気体物性が重要な役割を果している。気体物性の差がガス交換に及ぼす効果を研究する目的から, 高圧および低圧環境において, 異なるガスを呼吸した時の最大吸気および最大呼気Flow-volume曲線(MIFV, MEFV)について検討を加えたので報告する。

方法

研究室員6名を対象とし, 東海大学病院高圧および低圧兼用タンク(田葉井製作所)を使用した。アニマ社製プラスチック・ベル型レスピロメーターおよび微分装置によりMIFV, MEFVを測定, 渡辺測器製高速型X-Y記録計で記録した。吸入ガスとして, 空気, 80%SF₆+20%O₂, 80%He+20%O₂を使用し, 0.5気圧ではSF₆は60%とした。あらかじめ肺内ガスをそれらのガスで洗い出し, レスピロメーター内を吸入ガスでみたしておいてMIFV, MEFVを測定した。

成績

表1および表2は, それぞれ1気圧空気呼吸の値を100とした時の各肺気量位でのFlowを, 各種実験条件下のMIFV, MEFVについて示したものである。努力肺活量値は, 空気1気

圧での値の百分比で96から100%の間であったが, He 0.5気圧で94, SF₆ 2気圧で92と若干低値を示した。Peak flowに達するまでの呼出量は, 1気圧空気呼吸下の値を100として, He 0.5気圧で167, SF₆ 2気圧で49のように, 高い密度でPeak flowが頭打ちになる成績が示された。V̇₅₀/V̇₂₅はHe, 空気, SF₆の順に大きく, 同一ガスでは気圧の大きいほど低値であった。緩解期喘息患者ではHeによるこの比の増加は顕著でなかった。空気呼吸下のV̇₅₀およびV̇₂₅を基準として,

$$\dot{V}_{50} = (\dot{V}_{50X} - \dot{V}_{50AIR}) / \dot{V}_{50AIR} \times 100,$$
$$\dot{V}_{25} = (\dot{V}_{25X} - \dot{V}_{25AIR}) / \dot{V}_{25AIR} \times 100$$

で示される指標では, ΔV̇₅₀はΔV̇₂₅よりもかなり高値であり, SF₆についても同様であった。MEFV下降脚におけるFlowの一致点, すなわちVolume of isoflowは, 気圧が低いほど大きい傾向があったが有意ではなく, 肺活量の12ないし14%を占めた。SF₆について同様にVolume of isoflowをみると, 0.5気圧で8.6%であった。

表3は, 表1に示す実験成績をもとに, 密度とFlowの関係を, Flow = K · (Density)^xとして計算したものである。V̇_{max}からV̇₂₅まではFlowと密度は強い相関関係があり, V̇₁₀になるとそれが崩れてくるのがわかる。また, V̇₁₀について, V̇₁₀ = K · A^xの形で, Aに密度, 粘性およびKinematic viscosityをとって検討すると, 粘性との相関係数-0.730, Kinematic viscosityとの相関係数は-0.739であった。MIFVにおける成績は表2にみられるごとくであるが, その波形に大きな個人差がみられた。

* 東海大学臨床生理学教室

** 東海大学病院高圧酸素治療室

MIFV と MEFV から $\dot{V}E_{50} / \dot{V}I_{50}$ をとると, He では 1.40, 空気で 1.03, SF₆ で 0.8 であり, 緩解期喘息患者ではこの比の著明な低下がみられた。

考 察

Peak flow と気体の密度, 粘性との関連については, すでに Schilder ら, Wood ら, Maio らのすぐれた研究がある。Wood らの成績では, Peak flow は密度の -0.45 乗に比例するとされており, Schilder らによって, 粘性は高肺気量位 Flow にはほとんど影響しないと報告されている。最近の Mead らの EPP 理論 (Equal

Pressure Point Theory) では, 気道にそった圧力低下が, 乱流抵抗と層流抵抗との和としての粘性抵抗, および加速抵抗によって生ずることを示している。それでは末梢のいづこまで密度の影響が及ぶかが本研究の命題の 1 つであるが, \dot{V}_{10} での成績にみられるように, きわめて低い肺気圧量位まで密度の影響が認められた。密度と Flow との関係を示す成績で, 密度の指数が他の報告より低値である点は, 逆に粘性の高肺気量位での Flow への影響を示唆するという解釈も可能である。

INSPIRED GAS	He-O ₂	He-O ₂	AIR	He-O ₂	AIR	SF ₆ -O ₂	AIR	SF ₆ -O ₂	SF ₆ -O ₂
P _B (ATA)	0.5	1.0	0.5	2.0	1.0	0.5	2.0	1.0	2.0
No. of SUBJECTS	4	6	4	5	6	4	5	6	5
RELATIVE DENSITY	17	33	50	66	100	173	200	425	850
RELATIVE VISCOSITY	108	108	100	108	100	96	100	90	90
\dot{V}_{max}	145	131	118	110	100	85	78	59	48
\dot{V}_{50}	214	168	138	126	100	72	80	52	46
\dot{V}_{25}	180	136	130	119	100	82	87	62	59

SF₆-O₂ mixture breathed under 0.5 ATA contained 40 % oxygen.

表 1. MEFV 曲線での各肺気量位における流速比較値

INSPIRED GAS	He-O ₂	He-O ₂	AIR	He-O ₂	AIR	SF ₆ -O ₂	AIR	SF ₆ -O ₂	SF ₆ -O ₂
P _B (ATA)	0.5	1.0	0.5	2.0	1.0	0.5	2.0	1.0	2.0
No. of SUBJECTS	4	6	4	5	6	4	5	6	5
RELATIVE DENSITY	17	33	50	66	100	173	200	425	850
RELATIVE VISCOSITY	108	108	100	108	100	96	100	90	90
\dot{V}_{max}	138	121	121	100	100	91	76	66	43
\dot{V}_{75}	116	115	101	94	100	89	78	63	36
\dot{V}_{50}	146	109	126	103	100	95	72	61	40
\dot{V}_{25}	130	116	116	95	100	92	74	60	40

SF₆-O₂ mixture under 0.5 ATA contains 40 % oxygen.

表 2. MIFV 曲線での各肺気量位における流速比較値

$$FLOW = K \cdot (DENSITY)^X$$

	X	K	CORRELATION COEFF.
\dot{V}_{max}	-0.300	5.12-9.44	-0.987
\dot{V}_{50}	-0.401	3.50-7.08	-0.986
\dot{V}_{25}	-0.300	1.34-2.33	-0.976
\dot{V}_{10}	-0.145	0.53-0.79	-0.734

表 3. 流速と密度