3. 呼吸機能検査

——上気道狭窄の診断を中心として——

*中島 重徳, 津谷 泰夫

**太田 文彦, 米川 紘子

Symposium I : Recent Advances in Diagnostic Aspects in Bronchoesophagology

3. Diagnosis of Upper Airway Obstruction

Shigenori Nakajima, M.D. and Yasuo Tsuya, M.D.

Fourth Department of Internal Medicine, Kinki University
School of Medicine, Osaka

Fumihiko Ohta, M.D. and Hiroko Yonekawa, M.D.

Department of Otolaryngology, Kinki University School of Medicine, Osaka

For the diagnosis of the upper airway obstruction, flow volume (FV) curve provides useful informations, since it shows a characteristic pattern. However, it may be difficult to identify the pattern when forceful expiration is not sufficiently performed or when the patient has a mild impairment of upper airway diseases. The purpose of the present paper was to study the utility of the He-O₂ FV curve for the diagnosis of the upper and central airway obstruction and for the detection of the extent of obstruction. In this study, six healthy subjects and forty nine patients with upper airway diseases (vocal cord polyp, vocal cord paralysis, cancer of larynx), were examined. In order to simulate the upper airway obstruction, external resistance tubes with the inner diameters ranging from 4 to 15 mm were inserted to the air passage.

1) Even when the external resistance increased, FVC did not change. 2) FEV_{1.0} showed no substantial change when the inner diameter was larger than 6 mm, however it obviously decreased when the inner diameter was 5 mm or less. 3) FEV_{1.0}/PF ratio increased as the inner diameter decreased and the increase of this ratio became distinctive when the inner diameter was under 7 mm reaching 10 ml/l/min or more. 4) $\angle$ PF increased as the inner diameter decreased, and the increment was significant when the inner diameter was less than 9 mm. 5) Upper airway impairment of vocal cord polyp, vocal cord paralysis and cancer of larynx were detected by FEV_{1.0}/PF and $\angle$ PF of air FV curve and He-O₂ FV curve. 6) The He-O₂ FV curve was considered to be useful for the diagnosis of the upper airway obstruction.

Key words : simulated upper airway obstruction, He-O₂ flow volume curve, helium response, vocal cord polyp, vocal cord paralysis

*近畿大学医学部第4内科学教室

**近畿大学医学部耳鼻咽喉科学教室

I. はじめに

肺におけるガス交換には、換気、吸気分布、拡散、肺循環、換気—血流比などの過程があり、これらの機能が換気機能あるいは肺機能である。気道狭窄は、このうち第1の換気機能障害の原因となるが、肺機能異常の際にはこれらの過程のどこが障害されているかを知ることが肺機能検査の大切な役割の1つでもある。

ここでは、とくに上気道狭窄の肺機能検査として、FV 曲線の解析についての最近の試みについて述べる。

II. 上気道狭窄の評価

上気道とは、鼻腔から喉頭までをいい、気管以下終末細気管支までが下気道であるが、肺機能検査上、鼻腔の閉塞を測定することはできず、機能障害の立場からは胸郭内か胸郭外かが問題であるため、肺機能検査では喉頭から頸部気管までを上気道として扱っている。

上気道閉塞の原因は、喉頭の奇形、外傷、炎症、声帯結節、声帯ポリープ、良性腫瘍、悪性腫瘍、反回神経麻痺、肉芽腫、長期挿管後瘢痕狭窄など多彩である。これらによる狭窄も肺機能上変動性のものと固定性のものがあり、閉塞の強さが呼吸吸気によって変化する変動性閉塞と、呼吸サイクルを通じ一定の閉塞の強さを示す固定性閉塞に分けられる。変動性閉塞でも狭窄部が上気道にあり、反回神経麻痺による声門狭窄や声門の肉芽腫などが原因の場合には吸気

図1 変動性狭窄時の病態

性閉塞を示し、胸郭内気管に起因する変動性閉塞では呼気性閉塞を呈する¹⁾²⁾。

1. 上気道狭窄に及ぼす気道内外圧差の影響

下気道狭窄では呼気性閉塞が主体をなすが、上気道狭窄では、吸気性閉塞の存在が特徴とされる²⁾。長期挿管後の狭窄のように、瘢痕組織が

図2 上気道狭窄における flow-volume 曲線

図3 気道外抵抗管

気管全周に波及し固定性閉塞を呈する場合には、狭窄の程度は気道内外圧差の影響はほとんど受けないため吸気相も呼気相ともに同様に閉塞がみられる。しかし、反回神経麻痺による声帯麻痺や声帯に局在する肉芽腫や腫瘍などの場合には、図1に示すように³⁾、気道内外圧差による影響をうける。すなわち、胸郭外気道狭窄では努力性吸気時Cのように狭窄部が著しく陰圧となり、大気圧によって圧縮されるため狭窄は増大するが、呼気時はDに示すように逆に抵抗は減少する。胸郭内狭窄では、吸気時にはAのように胸腔内圧が気管内圧より陰圧になるので狭窄部は拡張して抵抗は減少するが、吸気時にはBのように胸腔内圧は陽性となり、胸郭内狭窄は外からの圧迫でより狭くなり抵抗は増強する。

2. スパイログラム

日常スパイログラムの指標では、peak expiratory flow rate (PEFR) と最大換気量 MVV が軽度の上気道閉塞をもっとも敏感に検出し、ついで最大中間呼気流量 MMF で、1 秒量 FEV_{1.0} は上気道閉塞の検出としては不適である。MVV は、吸気性閉塞を反映するために上気道閉塞の検出に有用と考えられており、最大努力吸気操作をスパイログラムに加えて、peak inspiratory flow rate や吸気1秒量 FIV_{1.0} を分析するのがよいとされている。

FV 曲線は、末梢気道狭窄の検出に有用であるが、上気道狭窄の検出にも有用で特有のパターンがみられる。すなわち、図2に示すように FV 曲線で peak flow rate の減少と正常の曲線の上方を切りとったようなプラ

図4 抵抗管装着時の FV 曲線 (Y.T. 37. M)

症例 1. Y.T. 37y, M, Ht166cm

図5 健常者の抵抗管装着時の FV 曲線

トーの形成が特徴である⁴⁾⁵⁾⁶⁾⁷⁾。変動性上気道狭窄では吸気相に、胸郭内気管狭窄では呼気相に、固定性狭窄では吸気・呼気の両気相にこれらが

みられる。Hyattら⁴⁶⁾は、このプラトー形成の理由を、狭窄部で dynamic pressure が殆ど消費され、換気力学的に規定される最大気流量をうるための十分な気流抵抗圧がえられないのが原因と説明している。

3. He-O₂ FV 曲線による上部気道閉塞の診断

前述のように FV 曲線のプラトー形成は、上気道閉塞の特徴的パターンとされているが、軽度の上気道閉塞では判別が困難であり、また、上気道閉塞の認められない慢性閉塞性肺疾患や、呼出努力不足によるものにも同様のパターンがみられ鑑別困難な場合がある。そこで、FV 曲線で判明しえない程度の上気道閉塞の早期検

図6 健常者における各抵抗管装着時の FEV_{1.0}/PF (n = 6)

表1 健常者における各抵抗管装着時の肺機能成績

抵抗管内径(mm)		(n = 6)			
		%VC (%)	FEV _{1-0%} (%)	ΔV̇ ₇₅ (%)	ΔV̇ ₅₀ (%)
未装着時		106.5 ± 8.0	90.1 ± 3.5	38.8 ± 19.6	66.4 ± 27.3
抵抗管装着時	15	105.4 ± 8.8	91.3 ± 3.1	27.4 ± 10.6	57.4 ± 22.0
	10	107.3 ± 8.3	90.2 ± 2.6	29.4 ± 9.2	73.5 ± 36.7
	9	105.6 ± 9.1	91.3 ± 2.4	30.5 ± 15.3	50.6 ± 18.2
	8	104.8 ± 10.0	91.5 ± 3.5	33.5 ± 11.6	52.6 ± 12.1
	7	106.9 ± 10.2	89.6 ± 5.2	38.3 ± 10.0	47.4 ± 10.0
	6	105.9 ± 8.3	86.9 ± 3.8 [※]	40.3 ± 19.0	38.9 ± 14.1
	5	105.1 ± 9.5	65.8 ± 9.6 ^{※※}	56.7 ± 26.7	58.9 ± 21.5
	4	104.2 ± 12.1	44.6 ± 7.3 ^{※※}	44.8 ± 19.0	67.5 ± 25.3

※：P < 0.01, ※※：P < 0.001

図7 両側ポリープ様声帯 (黒塗り, 32歳) の喉頭部断層像

表2 上気道疾患

	例数(M:F)	年齢(mean)	%VC (%)	FEV _{1.0} (%)
声帯ポリープ	29(19:10)	27~71(42.3)	105.6±10.0	80.1±7.2
ポリープ様声帯	13(5:8)	35~54(49.0)	96.1±4.3	81.0±4.0
その他	7(5:2)	18~73(50.4)	90.8±7.2	76.6±10.5

その他：喉頭癌 2, 反回神経麻痺(一側) 2, 下咽頭嚢胞 1,
舌根扁桃腫張 1, 声帯白斑症 1.

図8 声帯ポリープ (■, 38歳)のFV曲線

(発声時) (吸気時)

図9 喉頭癌(T4) (■, 36歳)の喉頭部断層像

出や慢性閉塞性肺疾患(COPD)合併時の診断に, He-O₂ FV曲線の有用性を検討するために以下の実験を試みた。まず, 健常者に種々の気道外抵抗管を装着し, さらに, 上気道閉塞例(声帯ポリープ, ポリープ様声帯, 喉頭癌, その他49例)について気道外抵抗管を装着して同様の

検討を重ね, He-O₂ FV曲線の上気道閉塞の診断に対する有用性を検討した。

4. 健常者における抵抗管装着によるFV曲線

対象は肺機能検査手技に熟練した当科医師および臨床検査技師6例で, うち男性3例に喫煙歴がある以外は心肺疾患の既往はない健常者である。検査当日の%VC, FEV_{1.0}はすべて正常値で, 男女間に差異をみとめなかった。

上気道閉塞をsimulateするため, 図3に示すアクリル製の抵抗管をマウスピースとレスピロメーターの蛇管との間に装着し, 胸郭外抵抗とした。抵抗管は円径4.5, 6, 7, 8, 9, 10, 15mmの8本を使用した。

はじめに, コントロールとして抵抗管を装着せずに空気呼吸によるFV曲線(PEFV)を記録し, ついでHe-O₂混合ガス(He: 80%, O₂: 20%)を5回深呼吸後30秒間安静呼吸してからFV曲線を記録し, He-O₂ FV曲線とした。両者とも3回記録し, もっともよく呼出できたと思われる曲線を分析に用いた。さらに, 内径15mmから4mmまでの抵抗管を順次装着し, 同様の検査を実施した。測定はChest社製呼吸機能測定装置OST 80-Aを用いた。

上気道閉塞を示す指標として, FV曲線のPF部の平低化を示すため, Rotman⁹⁾に従って, FEV_{1.0}/PFを用いた。空気とHe-O₂ FV曲線との関係を示す指標として, Lavelle⁹⁾に従って

$$\Delta PF = \frac{PF_{He-O_2} - PF_{Air}}{PF_{Air}} \times 100(\%)$$

を用いた。

図10 喉頭癌 (T₄) (鈴○康○, 36歳) のFV曲線

図11 抵抗管装着によるFEV_{1.0}/PFの変動

図12 抵抗管装着によるΔPFの変動

図4に内径7mm抵抗管装着時の空気(実線)およびHe-O₂FV曲線(破線)の1例を示した。なお、FEV_{1.0}/PFはFEV_{1.0}の単位をmlとし、PFの単位はl/minとした。

図5に健常者の1例の抵抗管装着によるFV曲線の変化を示した。抵抗管の内径15~8mmまでは、PF部の平低化を示すようなパターンとはならず、7mmで初めて明らかとなった。

空気FV曲線からえたFEV_{1.0}/PFと抵抗管内の内径との関係を図6に示した。コントロー

ル値は平均6.6±0.8 ml/l/minでありRotmanら⁸⁾の報告と一致していた。内径10mmで増大しはじめ(p<0.01, paired t test), 7mm以下で急激な増大を示し, 10 ml/l/min以上となった。これは視覚的なFV曲線のパターンとほぼ一致していると考えられた。空気およびHe-O₂FV曲線のPFと抵抗管の内径との関係では, 抵抗管の内径が狭小になるに従って両者のPFは減少した。コントロール値に比較し, 空気FV曲線は内径9mm以下で, He-O₂FV曲線では内径8mm以下でp<0.02となり有意に減少した。ΔPFは, 抵抗管の内径が狭小化するに従って増大し, 内径8mm以下ではコントロール値に比し, 有意に増大した。抵抗管装着時の肺機能成績を表1に示した。内径6mm以下でFEV_{1.0}は低下し始めた(p<0.01)が, 5mmおよび4mmではさらに著しく低下した(p<0.001)。しかし, %VC, ΔV̇₅₀はほとんど変化せず, ΔV̇₇₅は内径5mm, 4mmで増大傾向がみられたが, 明らかではなかった。

表3 声帯ポリープ

	例 数 (M : F)	年 齢 (mean)	%VC (%)	FEV _{1.0} /FVC (%)	%PF (%)
I 群	6 (3 : 3)	34~65 (45.8)	115.3 ±16.0	82.5 ±7.5	95.7 ±25.3
II 群	7 (4 : 3)	35~64 (54.1)	105.5 ±17.4	81.0 ±6.7	108.1 ±10.3

I 群: 術後FV曲線の改善(+)

II 群: 術後FV曲線の改善(-)

図13 声帯ポリープの術前術後のFV曲線

図14 抵抗管装着によるFEV_{1.0}/PFの変動

5. 上気道狭窄におけるFV曲線

図7はポリープ様声帯とそのX線による喉頭部断層像で、左側は発声時、右側は吸気時で声帯の開大は良好とはいえない。このような例でも、空気FV曲線では狭窄の検出は困難なことが多い。上気道狭窄におけるFV曲線の代表的パターンは図2に示したが、ここでは主にこのDのパターンの変化を中心に述べる。

1) 2, 3の上気道疾患とFV曲線

上気道疾患49例のスパイログラムのうち、%VCとFEV_{1.0}%を表2に示したが、これらの値は声帯ポリープとポリープ様声帯の各群の間に明らかな差異はみられなかった。FEV_{1.0}%は喉頭癌で低下したほかは変化はみられていない。また、内径8mm抵抗管装着前と装着時のFVCおよびFEV_{1.0}でも各群間に有意差はみられていない。図8は声帯の中央にできた肉芽性のポリープの1例と、その空気およびHe-O₂FV曲線を示したが、抵抗管装着時にHe-O₂FV曲線に変化はみられないが、空気FV曲線では明らかに低下しており、このためΔPFが増大し、声帯ポリープによる軽度の上気道狭窄が検出されている。

喉頭癌(T₄)の1例では、図9のように1側声帯とともに声門下の気管にも腫瘍による狭窄を伴っており、発声時および吸気時ともに喉頭および気管の動きはほとんど変わっていない。その空気およびHe-O₂FV曲線は図10のごとくで、抵抗管を装着しなくとも、典型的な高肺気量部の平低下を示しており、抵抗管装着によってそのパターンはより明瞭となっている。

これらの症例の成績を一括して抵抗管装着時の変動をみると、FEV_{1.0}/PFの変動は図11のごとく、声帯ポリープ、ポリープ様声帯およびその他の各群ともに抵抗管装着により有意に増加を認めている(ともにp<0.001)。また、ΔPFの変動は図12のように、抵抗管装着により各群ともに有意の増加がみとめられた(p<

図15 抵抗管装着による Δ PF の変動

図16 抵抗管装着による PF insp の変動

0.005, $P < 0.05$).

2) 声帯ポリープ摘出術と FV 曲線

つぎに、声帯ポリープについて、術前および術後 1 カ月以上経過した 13 例の成績から、軽度の上気道狭窄の FV 曲線による検出の可能性について検討した。これら 13 例の %VC, FEV_{1.0}/FVC, %PF は表 3 のごとく、すべて正常値であるが、これを術後の FV 曲線で、高肺気量部で PF が 0.5 l/sec 以上改善がみられたものを I 群、同様の改善がみられなかったものを II 群とし、術後の改善の程度から生理学的意義を検討した。図 13 にその 1 例の FV 曲線を示した。本例は術後 2 カ月を経過し、音声学的には完全に回復しているが、抵抗管非装着時の FV 曲線では軽度の上気道狭窄のパターンを示している。しかし、装着時の FV 曲線では術後に明らかに改善されている。

これらの声帯ポリープ例の術前・術後の FEV_{1.0}/PF の変動を図 14 に示したが、II 群では抵抗管の装着の有無にかかわらず、健常例とほぼ同様の値を示し、さらに、手術前後においてもともに有意の差はみられなかった。しかし、I 群では、術前の抵抗管非装着群でも高値を示し、また、手術前後を比較しても高値を示している。さらに、抵抗管装着群では術後に有意に低下をみとめている。図 15 は、 Δ PF の変動を比較したものであるが、I 群で手術前および術後共に抵抗管装着時に有意に Δ PF の増大がみられている。しかし、II 群では、術前術後ともに有意差はないが、術後に Δ PF は I 群に比して低下傾向を示している。

これらのことは、抵抗管装着による軽度の上気道狭窄の検出の可能性を示唆するものと考えられた。

また、上気道狭窄の検出には、吸気 FV 曲線が有用とされているため、吸気 FV 曲線における PF insp について抵抗管による影響を検討した。図 16 に上記の声帯ポリープ群の成績を示したが、抵抗管非装着時では、I 群・II 群ともに術後に増加したが、その差は小さく、健常群との有意差はなかった。抵抗管装着時でも両群ともに低下するが、有意差はみられなかった。これは、気道狭窄時は呼吸抵抗が増大し、吸う力がある程度以上あれば、少々の上気道外抵抗には影響されず、吸気 FV 曲線による軽度の上気道狭窄の検出は困難のように考えられた。

III. 考 察

上気道閉塞における FV 曲線の特徴的パターンは図 2 のように広く知られているが、軽度の狭窄を検出することは困難である。そこで、He-O₂ FV 曲線を応用することによって、軽度の上気道閉塞の検出を可能にしようとしてまず健常者に気道外抵抗をつけ、その有用性を検討した。

被検者たちは、肺機能検査に精通した正常肺機能者を選んだ。

上気道閉塞を simulate するため、レスピロメーターとマウスピースとの間に抵抗管を装着し

た。これらについて Miller and Hyatt¹⁰⁾, Lavelle ら⁹⁾, Kryger ら³⁾も同様の試みをしており、本法で上気道閉塞を simulate しようることを想定している。

子どもの成績では、FEV_{1.0}/PF は、抵抗管の内径 10 mm 以下で増加しはじめ、内径 7 mm 以下で平均 10 ml/l/min を越えている。Rotman ら⁸⁾は努力呼出曲線や FV 曲線から 4 種類の指標を用いて上気道閉塞の診断について検討しているが、そのうちで FEV_{1.0}/PF が鑑別能力にすぐれ、上気道閉塞を有する症例では、ほとんどの症例が FEV_{1.0}/PF は 10 ml/l/min 以上であったとしている。この値は内径 7 mm 以下の抵抗管を装着した時の値と一致しており、FV 曲線で視覚的に高肺気量部の平低化が認められる内径であり興味深い。

PF は空気呼吸時は内径 10 mm 以下で低下し始め、内径が細くなり抵抗が増大するにつれて著明に低下した。He-O₂ 呼吸時では内径 8 mm 以下で低下し始め、Lavelle ら⁹⁾の報告とほぼ同様の結果をえた。ΔPF は内径の減少とともに増大し、内径 9mm で $p < 0.05$, 内径 8.7 mm で $p < 0.005$ と有意の増加を示し、本法が上気道閉塞の診断法として有用であることが示唆された。

Lavelle ら⁹⁾の報告では、健常者に内径 6 mm 以下の抵抗管を装着した場合の He-O₂ 応答は ΔPF, ΔV₇₅, ΔV₅₀ とも平均値で 50% 以上あったとしているが、子どもの成績では、これに比しやや低い値がえられた。また、内径 6 mm 以下ではデーターのばらつきがみられたが、高度の呼出困難のため再現性のある成績がえられにくかったためとも考えられる。また、今回は胸腔内圧を測定していないので、抵抗管装着時、とくに He-O₂ 混合ガス呼吸時の胸腔内圧(肺胞内圧)に及ぼす影響などが不明であり、今後さらに検討しなければならない。

さらに、軽度の上気道閉塞を検出できるか否かという問題であるが、声帯ポリープ、ポリープ様声帯、声帯麻痺などの術前・術後を比較すると空気 FV 曲線の変化が判別できるが、術前診断はきわめて困難であった例で、内径 8 mm の抵抗管装着により上気道閉塞の疑いが濃厚となる成績が得られている。術後の成績もまだ上

気道閉塞の疑いが残っているが、数カ月経過後再検することによってさらにこの診断法の信頼性を高めることができたと考えている。

IV. おわりに

空気 FV 曲線で上気道閉塞の有無を鑑別困難な場合は、He-O₂ FV 曲線を用い、さらに気道外抵抗を加えることによってより診断を確実にできることが明らかとなり、上気道閉塞診断における He-O₂ FV 曲線の有用性を明らかにした。

おわりに、本シンポジウム担当の機会を与えられた、九州大学耳鼻咽喉科教授、上村卓也会長ならびに東京大学音声言語医学研究施設廣瀬肇教授に心から感謝致します。

文 献

- 1) 佐々木孝夫：気道病変, *medicina*, 18 : 2034-2037, 1981.
- 2) 白石透：上気道閉塞, *medicina*, 18 : 2064-2067, 1981.
- 3) Kryger, M. et al. : Diagnosis of obstruction of the upper and central airways. *Am. J. Med.*, 61 : 85-93, 1976.
- 4) Hyatt, R.E., Schider, D.P. and Fry, D.L. Relationship between maximum expiratory flow and degree of lung inflation. *J. Appl. Physiol.*, 13 : 331-336, 1958.
- 5) Yernalt, J.C., Englert, M., Sergysels, R. et al. : Upper airways stenosis : A physiologic study. *Am. Rev. Respir. Dis.*, 108 : 996-1000, 1973.
- 6) Hyatt, R.E. and Black, L.F. : The flow-volume curve. A current perspective. *Am. Rev. Respir. Dis.*, 107 : 191-199, 1973.
- 7) Hyatt, R.E. : Evaluation of major airways lesions using the flow-volume loop. *Ann. Otol.*, 84 : 635-642, 1975.
- 8) Rotman, H.H., Liss, H.P. and Weg, J.G. : Diagnosis of upper airway obstruction by pulmonary function testing. *Chest*, 68 : 796-799, 1975.
- 9) Lavelle, T.F., Jr., Rotman, H.H. and Weg, J.G. : Isoflow-volume curves in the diagnosis of upper airway obstruction. *Am. Rev. Respir. Dis.*, 117 : 845-852, 1978.
- 10) Miller, R.D. and Hyatt, R.E. : Obstructing lesions of the larynx and trachea : Clinical and physiologic characteristics. *Mayo Clin. Proc.*, 44 : 145-161, 1969.

（別刷請求：〒589 大阪府南河内郡狭山町西山380）
近畿大学医学部第4内科学教室
中島 重徳