

## 原著

気管内心機図の流量変化と心機能  
との関連について

津崎 晃 一\*

## 要 旨

心拍動に伴うわずかな気管内の気体振動を無呼吸下に呼吸流量計で流量変化としてとらえ、気管内心機図 (ITCG-F) として心機能の評価を行なった。臨床例でイソフルレンによる心機能への影響を検討すると、ITCG-F と心エコー法の両者によりそれぞれ心抑制作用を認め、特に変化率として評価を行なった際の ITCG-F では、より鋭敏に心抑制作用を示した。また、両者間に対応すると考えられる各心機能パラメータにおいても良好な相関関係が得られた。さらに、エンフルレン、ハロセン、イソフルレンの各吸入麻酔薬による影響を ITCG-F により検討すると、それぞれ用量依存性の心抑制作用を示し、同一 MAC の比較では、抑制作用の強い順にエンフルレン、ハロセン、イソフルレンであった。一方、動物実験では、ITCG-F における陽性波 (BC 成分) に及ぼす肺動脈拍動性の影響が認められ、発生機序の一部に理解が与えられた。

## はじめに

心拍動に付随して起こる肺内の気体振動現象は、気管内チューブを介することにより、気管内の気体の圧変化や流量変化として認められる。また、呼気炭酸ガス濃度曲線や、ヘリウム、窒素などの標識ガスの呼出曲線にみられる周期的変動としても観察することができる。これらは一般に

cardiogenic oscillation と総称されているが<sup>1)</sup>、上述のように気管内の気体の bulk flow の変化としてその圧や流量を測定する場合と、ガス濃度の変化を測定する場合とでは、それぞれ異なった情報を反映していると考えられている。

すなわち、呼気炭酸ガス濃度曲線や、標識ガスの呼出曲線に認められるガス濃度変化は、肺内において不均等に分布しているそれぞれのガスが、心拍動によって異なるコンパートメントから呼出されるために起こる現象<sup>2,3)</sup> と理解されている。一方、bulk flow を測定して得られる変化は、心拍動による心臓自体の動きを間接的に表現しているものと考えられている。われわれはこの点に注目して、気管内の気体の心源性拍動波から、心機能に関する情報を得る目的で、気管内心機図 (intra-tracheal pneumocardiogram, ITCG) と呼び、解析を加えている<sup>4-14)</sup>。この bulk flow は一般に、気管内麻酔中、無呼吸状態とした場合、気管内チューブに接続した呼吸流量計や圧トランスデューサによって、心拍動に同期したわずかな気体の流量変化または圧変化としてとらえることができる。

圧変化波形には、弁開閉に一致して棘波が認められ、心電図上の Q 波とこれら棘波との間隔から心収縮時相を求めた結果、心電図、頸動脈波および心音図から求める従来の方法による心収縮時相、および心エコー法による心収縮時相の何れとも良好な一次の相関がえられている<sup>4,11,14)</sup>。一方、流量変化波形からは、心収縮に伴う胸腔内の容量変化がとらえられ、心収縮能を間接的に表現して

\*慶應義塾大学医学部麻酔学教室

いると考えられる。この気体の流量変化波形（以下、ITCG-F と略す）には、一般に心収縮に一致すると考えられている吸気方向の陰性波と、それに引き続く呼気方向の陽性波、さらに心拡張期に相当する波の各成分が存在する。

現在までにこの気管内流量変化波形について実験的に心機能との関連性が検討され、陰性波の振幅は、一回心拍出量と、また陰性波の一次微分値の最大値は心筋の収縮性の変化をより反映するという結果がえられている<sup>7,8,13</sup>。陰性波に続く陽性波に関しては、肺動脈拍動との関連性が今までに示唆されている<sup>13,14</sup>。今回は、この気管内流量変化からみた気管内心機関の臨床応用として、吸入麻酔薬の負荷下における心抑制作用を検討し、また各種吸入麻酔薬の心機能に及ぼす影響について比較を行った。さらに、発生機序の一部を解明する目的で、その陽性成分における肺動脈拍動の影響について動物実験を行ったので、あわせて報告する。

## 研究方法

### ① 心機能評価における ITCG-F と心エコー法の比較

本研究の要旨について術前に了解が得られ、呼吸循環器系に特に異常の認められない手術予定患者11名を対象とした。麻酔導入前に心エコー測定装置（東芝製 SONO-LAYER-S SSH-60A）を用いたMモード心エコー法による左室機能の測定を行い、正しい記録がえられることを確認した。左室機能の代表的パラメータとして、左室拡張期内径および左室収縮期内径から、cube method<sup>15)</sup>により一回心拍出量 (SV:stroke volume) を、また短径短縮率 (FS:fractional shortening)、平均心筋収縮速度 (mVcf:mean velocity of circumferential fiber shortening) を算出した。これらのパラメータは、それぞれ連続する5心拍の平均値から求めた。吸入麻酔薬であるイソフルレンによる心機能への影響を検討するために、チオペンタール 4 mg/kg、サクシニルコリン 1 mg/kg にて麻酔を導入し、気管内挿管後、笑気・酸素（酸素濃度33%）で麻酔を維持しながら、循環系の安定した時点で対照値としての心エコー図、および ITCG-F による心機能の計測を行った。

対照値の測定後、イソフルレンを0.7%で10分

間負荷した場合、1.4%で10分間負荷した場合のそれぞれにおいて心エコー図と、ITCG-F、その微分波形である  $dF/dt$  による心機能測定法の比較検討を行った。ITCG-F による心機能の計測は、無呼吸状態としたところで、気管内チューブに直接小動物用フライシュ型気流抵抗管（日本光電製 TV-142T）と差圧トランスデューサ（日本光電製 TP-602T）を接続して行った。これにより得られた電気信号を呼吸用アンプ（日本光電製 AR-601G）で増幅、さらにこの信号を微分演算ユニット（日本光電製 EQ-601G）により微分波形に変換し、これら両者のアンプからの出力信号を心エコー測定装置の補助入力端子に加え、Mモード心エコー画像と共にビデオテープレコーダ（東芝製 A-37W）に同時記録した。また必要に応じて、ラインスキャンレコーダ（東芝製 LSR-20B）によりハードコピーを記録した。このようにして得られた、気体の流量変化波形は、呼吸流量計の較正を一定の低流量の酸素で行い、微分波形については、アンプ内に内蔵の三角波形により較正することで、絶対値として定量的に評価した。なお、気管内チューブを含めた測定系全体の周波数特性は -3 dB ポイントが 25 Hz で、この流量変化をとらえるうえで十分な特性を備えていると考えられる<sup>13</sup>。この流量波形から、三種類の心機能に関するパラメータをえた。すなわち、心収縮に引き

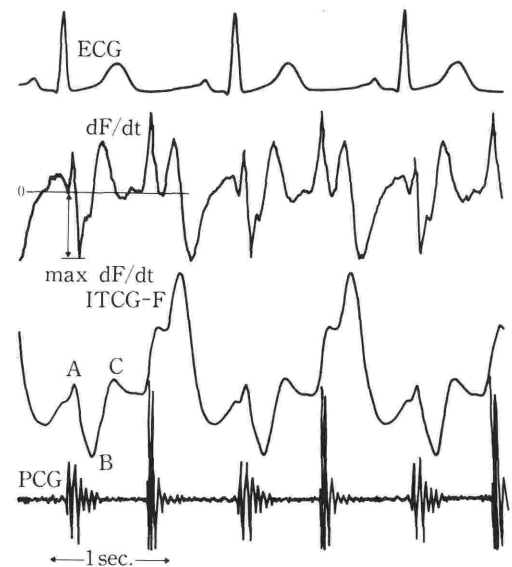


図1 代表的 ITCG-F,  $dF/dt$  波形と計測部位

続きみられる陰性波の最大振幅を AB 成分とし、この AB 成分に引き続く陽性波の最大振幅を BC 成分、さらに一次微分波形において AB 成分に一致する成分の最大値 (max dF/dt) である。これら各 AB 成分、BC 成分、max dF/dt の値は、心エコー法と同様に連続する 5 心拍から平均値を求めた。代表的なこれらの波形および計測部位を (図 1) に示す。

② ITCG-F からみた各種吸入麻酔薬の心機能に及ぼす影響

同様に各種吸入麻酔薬による心機能への影響を検討するために、エンフルレン、ハロセン、イソフルレンをそれぞれ等しい MAC 濃度で投与し、ITCG-F による心機能パラメータから検討を加えた。本研究の要旨について術前に了解が得られ、呼吸循環器系に特に異常の認められない手術予定患者 31 人を対象とし、それぞれを無作為に三群に分け、エンフルレン、ハロセン、イソフルレンの三種の吸入麻酔薬のいずれかを投与することにより麻酔を行った。麻酔の導入は、①の条件と同様に行い、気管内挿管後、循環系の安定を待って、笑気・酸素投与下に対照値を測定した。

その後上記の吸入麻酔薬の内いずれかを 1 MAC、および 2 MAC の濃度でそれぞれ 10 分間負荷し、測定を行った。

③ BC 成分と肺動脈拍動性の関連

体重 12-18 kg の雑種成犬 8 頭を対象とし、ペントバルビタールおよびパンクロニウム麻酔下の実験を行った。右心バイパスを行う目的で、胸骨正中切開で開胸し、右房より脱血カニューレ、右室よりベントカテーテル、また肺動脈主幹より送血カニューレをそれぞれ挿入した。肺動脈基部をテープにより閉塞させることで、静脈血はすべて脱血カニューレおよび右室ベントから貯血槽に集められ、ローラーポンプを経て肺動脈に送られることにより、拍動性のほとんど認められない定常流下の完全右心バイパスが可能となった。

このローラーポンプによる定常流バイパスに加えて、心拍に同期したバルーン・パンピングによるカウンター・パルセーション (データスコープ社製システム 80) を肺動脈への送血回路内で行うことによって、拍動流を肺動脈に送血することを可能とした。肺動脈の平均圧は、ローラーポンプの回転数により調節し、平均圧をできるだけ変化

させずに脈圧のみ変化させるようにポンプ操作を行った。また、左心系の圧モニタリングとして左房圧、左室圧測定を行い、ポンプ中に一定値を保つように努めた。この右心バイパス中の ITCG-F 波形を、肺動脈血流が定常流である時、および拍動流である時を比較検討することによって、ITCG-F の BC 成分に及ぼす肺動脈の拍動性の影響について解析を行った。

なお、統計的解析は、得られた各データについて、対照値との比較を Wilcoxon 順位和検定により行い、ITCG-F および心エコー法による心機能パラメータの比較は相関係数 r を求めることにより行った。

成績

① 心機能評価における ITCG-F と心エコー法の比較

(表 1) にイソフルレン麻酔下における心エコー法による心機能評価を、また (表 2) に ITCG-F による心機能評価を示す。それぞれの心機能を示すパラメータにおいて、笑気・酸素のみの対照値と、笑気・酸素・イソフルレン 0.7% と笑気・酸素・イソフルレン 1.4% の各麻酔深度では、一回心拍出量 (SV) で、72.45±5.39 ml が、55.97

表 1 イソフルレン麻酔下の心エコー法による心機能評価 (n=11, mean±S. E., \*p<0.05)

		イソフルレン		
		CONTROL	0.7%	1.4%
SV	(ml)	72.45±5.39	55.97±4.46*	57.18±4.32*
FS		0.37±0.02	0.29±0.02*	0.29±0.02*
mean Vcf	(sec <sup>-1</sup> )	1.25±0.08	1.02±0.07*	0.98±0.06*

SV: 一回心拍出量

FS: 短径短縮率

mVcf: 平均心筋収縮速度

表 2 イソフルレン麻酔下の ITCG-F による心機能評価 (n=11, mean±S. E., \*p<0.05)

		イソフルレン		
		CONTROL	0.7%	1.4%
AB	(l/min)	2.45±0.16	1.84±0.18*	1.72±0.21*
BC	(l/min)	1.71±0.25	1.36±0.19	1.27±0.22
max dF/dt	(l/sec <sup>2</sup> )	1.29±0.13	1.01±0.13	0.89±0.09*

±4.46 ml および 57.18±4.32 ml と減少の傾向 (p<0.05) を認めた. 短径短縮率 (FS) では同様に 0.37±0.02が, 0.29±0.02および 0.29±0.02 (p<0.05) であった.

また平均心筋短縮速度 (mVcf) では, 1.25±0.08 sec<sup>-1</sup> が, 1.02±0.07 sec<sup>-1</sup> および 0.984±0.06 sec<sup>-1</sup> (p<0.05) とそれぞれ有意な低下を認めた. これらの変化は, 対照値とは, イソフルレン投与により, 有意の差を認めたが, イソフルレンの投与濃度による差異は認められなかった. 一方, 心エコー法と同時に測定を行った ITCG-F では, (表2) に示すように絶対値としての変化は, 対照と比較して, 各イソフルレン濃度における AB 成分および, イソフルレン濃度1.4%における max dF/dt で有意差 (p<0.05) を認めるのみであった. しかしながら, AB 成分および max dF/dt を, 対照値を100%とした変化率で検討してみると, それぞれイソフルレン濃度0.7%と1.4%では77.19±3.65%, および68.59±2.57%, max dF/dt ではそれぞれ79.68±4.09%, および67.63±3.59%と著しい減少傾向を認め (p<0.05), イソフルレンの異なる濃度間にも有意差を認めた (図2). また, ITCG-F および心エコー法による心機能パラメータの関係を相関係数

r を求めることによって検討すると AB 成分と一回心拍出量 (SV) の間では r=0.55 (p<0.02), max dF/dt と平均心筋収縮速度 (mVcf) の間では r=0.61 (p<0.02) であった. ITCG-F の BC 成分については, イソフルレン投与により減少の傾向は認められるが, 有意差はなく, 異なる濃度間の差も認められなかった.

② ITCG-F からみた各種吸入麻酔薬の心機能に及ぼす影響

(表3) に ITCG-F によって測定された, 心機能に関する各種パラメータを吸入麻酔薬別および投与濃度別に示した. これら三群間において, 年齢, 体重などの有意差は認められなかった. すべて, 笑気・酸素のみの投与時を対照, 100%とした変化率で表示した. 絶対値による比較は, 個体間においてバラツキが大きいために評価が困難で, 同一個体における変化率で諸評価を行った. この三種類の吸入麻酔薬投与により, すべて対照と比較して, 各心機能パラメータの減少が認められた. また, 1 MAC と 2 MAC の投与濃度差に関して, AB 成分においては, エンフルレン群で, 59.9±6.6%, 29.6±3.6% (p<0.01) およびイソフルレン群で, 77.2±3.7%, 68.6±2.6% (p<0.05) と濃度依存性の有意な減少を認めた. BC 成分ではエンフルレン群のみに 78.3±7.1%, 43.6±7.6% (p<0.01) と有意の差を認めた. 一方, max dF/dt については, ハロセン群, エンフルレン群, イソフルレン群のすべてに, それぞれ 74.0±7.1%, 44.3±2.8% (p<0.01), 63.9±5.8%, 35.8±2.5% (p<0.01), 79.7±4.1%, 67.6±3.6% (p<0.05) と濃度依存性の減少を認めた. 同一 MAC による, 各吸入麻酔薬間の比較においては, ハロセン群, エンフルレン群間で, 2 MAC における AB 成分 (p<0.05) および 2 MAC における max dF/dt (p<0.01) でエンフルレン群に有意の

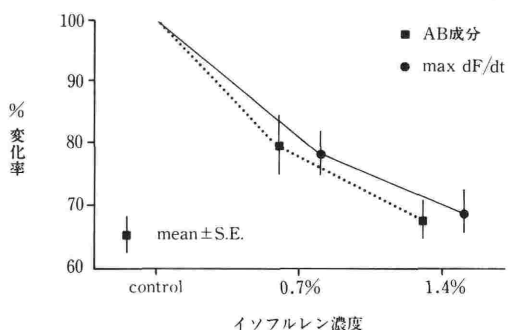


図2 イソフルレン麻酔に伴う ITCG-F の変化 (三群間全てで有意, p<0.05)

表3 各種吸入麻酔薬による ITCG-F の各パラメータの変化 対照を100%とした変化率で表わし, 各 MAC 間での比較を示す. (mean±S. E., \*p<0.01, \*\*p<0.05)

	ハロセン (n=8)		エンフルレン (n=13)		イソフルレン (n=11)	
	1 MAC	2 MAC	1 MAC	2 MAC	1 MAC	2 MAC
AB	72.2±2.7	61.5±3.6	59.9±6.6*	29.6±3.6*	77.2±3.7**	68.6±2.6**
BC	65.9±7.6	50.5±5.0*	78.3±7.1*	43.6±7.6*	86.6±9.6	79.2±7.0
max dF/dt	74.0±7.1*	44.3±2.8*	63.9±5.8*	35.8±2.5*	79.7±4.1**	67.6±3.6**

減少を認めた。エンフルレン群，イソフルレン群間では，1 MAC における AB 成分，max dF/dt ( $p < 0.05$ )，2 MAC における AB 成分，BC 成分，max dF/dt ( $p < 0.01$ ) でエンフルレン群に有意の減少を認めた。ハロセン群，イソフルレン群間では 2 MAC における BC 成分，max dF/dt ( $p < 0.01$ ) でハロセン群に有意の減少を認めた。

③ BC 成分の肺動脈拍動性との関連

(表 4) に右心バイパス下における，肺動脈圧と BC 成分の絶対値，および最大振幅に対する BC 成分の比率を示す。定常流と拍動流の両者において，平均肺動脈圧には  $21.2 \pm 3.3$  mmHg， $26.8 \pm 7.1$  mmHg と有意差が無かった。一方，脈圧については  $3.1 \pm 0.4$  mmHg， $14.5 \pm 3.2$  mmHg ( $p < 0.01$ ) と有意に拍動流の脈圧が大であり，カウンター・パルセーションとローラーポンプによる右心バイパスの組合せで，十分に肺動脈血流の拍動性をコントロールすることが可能であった。

このような実験条件のもとで，BC 成分の絶対値には定常流と拍動流とで，それぞれ  $1.91 \pm 0.32$  l/min， $2.68 \pm 0.74$  l/min と有意差が認められなかった。しかしながら，ITCG-F 波形の最大振幅に対する BC 成分の比率で表すと，定常流の  $23.5 \pm 6.5\%$  に対して，拍動流は  $48.6 \pm 9.7\%$  ( $p < 0.05$ ) と有意に BC 成分の増大を認めた。

考 察

① 心機能評価における ITCG-F と心エコー法の比較

麻酔中の吸入麻酔薬による心機能への影響を心

エコー法により観察した報告は比較的多く<sup>16-19)</sup>，心機能の抑制を鋭敏に検出するという点で一致を認めているが，術中の心機能モニタリングという状況では測定を行うことに困難さが生ずる。今回，われわれは今までの気管内心機図の臨床応用について検討を加え，心機能評価を試みた。心エコー法による評価では，イソフルレン投与により，対照値と比較して一回心拍出量 (SV)，短径短縮率 (FS)，平均心筋収縮速度 (mVcf) とも有意に低下し，イソフルレンが他の吸入麻酔薬と同様に心収縮力抑制作用をもたらすことを認めた。同様に，ITCG-F による評価では，AB 成分において有意の低下を，また max dF/dt ではイソフルレン 1.4 % の高濃度でのみ有意の低下を示した。このように各パラメータの絶対値による評価においては，ITCG-F の検出力が心エコー法に比較して劣っていると考えられるが，変化率で評価を行うと，心エコー法によるパラメータでは有意でなかった，異なるイソフルレン濃度間で有意差を認めることが可能であった。したがって，ITCG-F では，相対的な変化から評価する点において優れていると考えられる。また，従来からの研究により，ITCG-F の AB 成分は一回心拍出量と，また max dF/dt は，心筋の収縮能の指標である各種パラメータとの相関が高いとされてきたが<sup>8,13)</sup>，今回の臨床例からも，同様の傾向がうかがわれ，AB 成分と一回心拍出量 (SV) の間，max dF/dt と平均心筋収縮速度 (mVcf) の間にそれぞれ良好な相関を認めた。特に，この max dF/dt による心筋収縮能の評価は，変化率として表した場合，鋭敏にその低下の程度を示すことが心エコー法との比較からも認められ，臨床例において吸入麻酔薬の影響を解析することにより，さらにその意義が明かとなった。

② ITCG-F からみた各種吸入麻酔薬の心機能に及ぼす影響

吸入麻酔薬による心収縮力への影響は，その用量依存性の抑制として観察される<sup>20-22)</sup> が，ITCG-F の各パラメータからも同様に結論づけられた。特に max dF/dt は心機能の低下を鋭敏に示す指標であり，同一吸入麻酔薬では，異なる濃度間でも有意差が認められ，用量依存性の心抑制を明かに示した。また，異なった吸入麻酔薬により，同一の MAC においても，心機能の抑制の程度に

表 4 右心バイパス下における BC 成分と肺動脈圧 (n=8)

	定常流		拍動流		p
	mean	S. E.	mean	S. E.	
平均肺動脈圧 (mmHg)	21.2	3.3	26.8	7.1	NS
肺動脈脈圧 (mmHg)	3.1	0.4	14.5	3.2	<0.01
BC 成分 (l/min)	1.91	0.32	2.68	0.74	NS
BC/最大振幅 (%)	23.5	6.5	48.6	9.7	<0.05

差があることが認められた。すなわち、 $\max dF/dt$  から検討を加えると、心機能の抑制効果は、強い順からエンフルレン、ハロセン、イソフルレンで、イソフルレンが最も心機能に対する影響が少ないことが明かとなった。このように臨床応用上、ITCG-F は、有用な循環系のモニタリングとなることが示唆された。一方、臨床例における BC 成分については、吸入麻酔薬によって減少する傾向を認めるが、他の AB 成分や  $\max dF/dt$  にみられるような著明な変化は認められなかった。

### ③ BC 成分と肺動脈の拍動性

ITCG-F の諸成分に関して、今までにもその発生機序の解明を含めた解析が行われており<sup>4-14, 23-25)</sup>、AB 成分に関しては、大動脈弁の開放により血液が駆出され、心容積が減少することによって胸腔内圧が減少し、気道内に陰性方向の変動が生ずるという考えと<sup>13)</sup>、胸郭全体を一つのコンパートメントとみなして、その中に含まれる時々刻々の血液量の変化を表しているという考え方がある<sup>24, 25)</sup>。

一方、BC 成分に関しては未だ不明の点が多く、平均肺動脈圧との相関が認められているのみである<sup>13, 14)</sup>。今回の実験は、平均肺動脈圧との関連性よりも肺動脈の脈圧との関連性を解析する目的で行った。実際に、平均肺動脈圧に有意の変化が無いにも関わらず、BC 成分/最大振幅の比でみると定常流と拍動流に有意の差が認められ、平均肺動脈圧よりも、肺動脈の拍動性が BC 成分の形成に及ぼす影響として大きいことが理解される。BC 成分/最大振幅の比率で検討した理由は、この実験系において最大振幅の変化が条件によってはかなり大きく、BC 成分の形成に少なからず影響を及ぼすと考えられたためである。

このように、右心バイパスを用いた動物実験によって、BC 成分が肺動脈の拍動性を反映するものといって差し支えないことが理解されたが、臨床例においては吸入麻酔薬による右心機能の変化を評価することが可能な成績は得られなかった。

最後に、これらの結果を含めて、ITCG-F の発生機序の一部に考察を加えると、ITCG-F で得られる気管内における気体の流量変化は、レイノルズ数 ( $Re < 400$ )、および周波数パラメータ ( $\alpha < 5 \sim 6$ )<sup>26)</sup> からみて、層流でほぼ準定常流と考えられ、二次流れの影響の少ない分岐した線形要

素に由来するものとみなすことが可能である。実際には、肺動脈の拍動を含めた心拍動は、肺の間質などに一様に伝わるわけではなく、肺のそれぞれの部位において振幅、位相共に異なって伝わっていることが示されており<sup>27)</sup>、気管支内における拍動性の流量変化も部位により方向、流速が異なる<sup>28)</sup>。従って気管内チューブを介してえられる流量変化は、これらの線形結合としてとらえられるものと理解される。このような場合、比較的振幅の小さい波は、位相の違いによって相殺される傾向が強いと考えられ、肺胞における毛細管レベルでの拍動が伝わるというよりは、より太い血管レベルでの拍動が伝達されていると考えられる。

### ま と め

気管内の心拍動に伴う気体流量変化から心機能に関する情報を抽出し、解析を加えることにより、次の成果をえた。

① イソフルレン麻酔に際して、ITCG-F と心エコー法による心機能評価の比較検討を行い、臨床例における ITCG-F の有用性を認めた。

② イソフルレン、エンフルレン、ハロセンの各吸入麻酔薬を用いた麻酔に際して、ITCG-F による心機能評価を行い、AB 成分、 $\max dF/dt$  共に用量依存性に低下することから、各吸入麻酔薬の心抑制作用が明かとなった。さらに等 MAC 間の比較では、各吸入麻酔薬により異なった程度の心抑制作用が示された。

③ 動物実験において、ローラーポンプとカウンター・パルセーションによる右心バイパスを行い、肺動脈血流の拍動性を変化させたときの BC 成分を測定し、両者に正の一次相関を認めた。臨床例においては、BC 成分から麻酔薬による右心機能への影響を評価することはできなかった。

稿を終わるにあたり終始ご指導とご校閲を賜った長野政雄教授に深甚なる謝意を表します。

なお、本論文の一部要旨は、第七回循環制御学会で発表した。また、本研究の一部は文部省科学研究費補助金（一般研究 A、課題番号 60440074）による。

### 引用文献

1) Dahlstrom, H., Murphy, J. P., Roos, A.: Car-



- diogenic oscillations in composition of expired gas. The "pneumocardiogram". *J. Appl. Physiol.* 7:335-339, 1954.
- 2) Arieli, R.: Cardiogenic oscillations in expired gas: origin and mechanism. *Resp. Physiol.* 52:191-204, 1983.
  - 3) 吉岡公夫, 内藤雅裕, 福永保夫, 大久保俊平, 国枝武義: He, N<sub>2</sub> 同時洗いだし曲線上の Cardiogenic Oscillation の位相の解析. *日胸疾会誌*, 22: 890-897, 1984.
  - 4) 関口弘昌: 気管内心拍動波 (ITCG) に関する研究—従来の非観血的心収縮時相測定法との比較検討. *日胸疾会誌*, 15: 422-430, 1977.
  - 5) 関口弘昌, 重松俊之, 山田かず子, 小野 章, 真木博幸, 長野政雄: 気管内心拍動波による新しい心機能測定法の検討. *麻酔*, 25: 357-362, 1976.
  - 6) 長野政雄, 武田純三, 重松俊之, 山田かず子, 天野道之助: 気管内心機図に及ぼす麻酔薬の影響. *麻酔*, 28: 269-273, 1980.
  - 7) 重松俊之, 関口弘昌, 山田かず子, 小野 章, 長野政雄, 天野道之助: 気体流量変化からみた気管内心拍動波について. *麻酔*, 26: 436-441, 1977.
  - 8) 重松俊之: 心筋収縮力測定法としての気管内心拍動波の検討—イソプロテレノール・輸液前後の左心室内圧との関連—. *麻酔*, 29: 135-140, 1980.
  - 9) 関口弘昌, 重松俊之, 菊池 元, 小野 章, 長野政雄: 気管内心拍動波 (ITCG) 測定用トランスデューサの検討. *医器誌*, 46: 412-416, 1976.
  - 10) 山田かず子, 長野政雄, 重松俊之, 菊池 元, 武田純三, 天野道之助: 気管内心機図の拡張期時相について. *麻酔*, 27: 132-136, 1978.
  - 11) 武田純三, 真木博幸, 増田純一, 高橋純一, 一杉安秀, 重松俊之, 長野政雄: 気管内心機図 (ITCG-P) の心収縮時相に及ぼす心負荷の影響. *麻酔*, 30: 368-372, 1981.
  - 12) 長野政雄: 気管内心機図. *循環制御*, 2: 321-330, 1981.
  - 13) 真木博幸: 気管内心機図の波形分析とその心機能評価への応用. *循環制御*, 4: 125-134, 1983.
  - 14) 津崎晃一, 長野政雄: 気管内心機図. *循環制御*, 8: 83-87, 1987.
  - 15) Pombo, J.: Left ventricular volumes and ejection fraction by echocardiography. *Circulation* 43:480, 1971.
  - 16) Meyer, R. A.: Echocardiography—Application in assessing cardiac performance in clinical care. *Anesthesiology* 49:71-78, 1978.
  - 17) Wolf, W. J.: The hemodynamic and cardiovascular effects of isoflurane and halothane anesthesia in children. *Anesthesiology* 64:328-333, 1986.
  - 18) 米村栄茲, 中村匡信, 福島和昭: 左室収縮時間による麻酔中の心機能の評価 (心エコー法との比較) —第2報 GOE 麻酔における評価. *臨床麻酔*, 10: 611-616, 1986.
  - 19) 粕田晴之, 赤沢 訓, 神林隆元, 清水禮壽: 心エコー法による左室機能の評価. *日本臨床麻酔学会誌*, 7: 48-185, 1987.
  - 20) Prys-Roberts, C., Gersh, B. J., Baker, A. B. and Reuben, S. R.: The effects of halothane on the interactions between myocardial contractility, aortic impedance and left ventricular performance. *Br. J. Anaesth.* 44:634-649, 1972.
  - 21) Horan, B. F., Prys-Roberts, C., Hamilton, W. K. and Roberts, J. G.: Haemodynamic responses to enflurane anaesthesia and hypovolaemia in the dog and their modification by propranolol. *Br. J. Anaesth.* 49:1189-1197, 1977.
  - 22) Stevens, W. C., Cromwell, T. H., Halsey, M. J., Eger, E. I., Shakespeare, T. F. and Bahlman, S. H.: The cardiovascular effects of a new inhalation anesthetic, Forane, in human volunteers at constant arterial carbon dioxide tension. *Anesthesiology* 35:8-16, 1971.
  - 23) Smith, N. T., Reitan, J. A.: The pneumocardiogram: A potential monitor for the operating room. *Anesth. Analg.* 49:781-787, 1970.
  - 24) Luisada, A.: The internal pneumocardiogram. *Am. Heart J.* 23:676-691, 1942.
  - 25) Dzwonczyk, R., Howie, M. B., Mani, M.: The origin and modeling of the pneumocardiogram. *Anesthesiology* 63:A161, 1985.
  - 26) Womersley, J. R.: Method for the calculation of velocity, rate of flow and viscous drag in arteries when the pressure gradient is known. *J. Physiol. London* 127:553-563, 1955.
  - 27) Wei, J. H., Hoffman, E. A., Ritman, E. L., Wood, E. H.: Cardiogenic motion of right lung parenchyma in anesthetized intact dogs. *J. Appl. Physiol.* 58:384-391, 1985.
  - 28) West, J. B., P. Hugh-Jones.: Pulsatile gas flow in bronchi caused by the heart beat. *J. Appl. Physiol.* 16:697-702, 1961.
  - 29) Fahmy, N. R., Selwyn, A. S., Patel, D. and Lapas, D. G.: Pulmonary vasomotor tone during general anesthesia and deliberate hypotension in man. *Anesthesiology* 45:3-13, 1976.

## Evaluation of cardiac function using intratracheal air flow changes (Intratracheal pneumocardiogram, ITCG-F)

Koichi Tsuzaki

Department of Anesthesiology, School of Medicine Keio University

The oscillatory air flow changes in trachea, synchronized with heart beat, are easily obtained by specifically designed pneumotachograph attached to the endotracheal tube during apnea. It has been considered through the analysis of these air flow changes (intratracheal pneumocardiogram, ITCG-F) that there is close relationship between these flow and cardiac function. In animal experiment, negative component (AB) in ITCG recognized with cardiac contraction and its first derivative (max  $dF/dt$ ) have been reported to be in good correlation with stroke volume and max  $dP/dt$  of left ventricle, respectively. Positive component (BC) has been speculated to reflect the involvement of pulmonary circulation. Present studies are in-

tended to show the clinical validity of ITCG-F as cardiac function monitor during inhalational anesthesia. Results are as follows. 1) The percent change of AB and max  $dF/dt$  demonstrates the decrease of cardiac contractile function under isoflurane anesthesia as sensitively as echocardiography does. 2) ITCG-F shows the decreased cardiac function by inhalational anesthetics (isoflurane, halothane and enflurane) in a dose-dependent manner, and also shows the differences of cardiac depressive action among these anesthetics. 3) Dog experiments using right-sided heart bypass show the pulsatile pressure of pulmonary artery strongly contributes the formation of BC component.

**Key words:** intratracheal pneumocardiogram, echocardiography, inhalation anesthetics, cardiac function, pulmonary circulation