

原 著

経気道的心臓マッサージの試み

矢野博文* 吉田 仁* 大隅昭幸*
酒井資之* 高折益彦*

要 旨

特別に作製した時間設定/流量規定の高圧吹送人工呼吸器を用い、肺内圧を上昇させ、肺血管床血液を左房、左室、大動脈と駆出することにより、心蘇生時の人工心マッサージに応用することを全身麻酔下に人為心停止が導入された雑種成犬12頭で試みた。すなわち胸腹部全周に加圧性圧迫帯を装着し、気道内圧が上昇しても肺胞損傷が生じないよう防御したうえで、1.5~1.8気圧、1回換気量30~35ml/kgで純酸素による肺内加圧を人工呼吸も兼ねて行った。そして種々の吹送条件を予備実験として4頭の動物を用いて検討した結果、吹送/呼出時間比=1:1、吹送回数=60/分でもっとも効果的な血液駆出が行われることがみとめられた。次に8頭の動物において上記条件をもって心蘇生が試みられた。本法に併せて電気的除細動も併用されたが、心蘇生には成功しなかった。すなわち本法では静脈側からの back pressure のために十分な冠血流量がえられないためと考えられた。

は じ め に

Taylor ら¹⁾ は閉胸式心マッサージに同調して気道内圧を70~100cmH₂O に上昇させる換気を行い、いわゆる new cardiopulmonary resuscitation (new CPR) を提唱した。すなわち彼ら、あるいは Luce²⁾、Rudikoff ら³⁾ は胸腔内圧の上昇が連

通管となった心室、心房、肺血管系を圧迫し、血液を圧の低い胸腔外へ流出させるのに役立つと述べた。そして一方心臓から末梢への逆流は大静脈が胸腔内圧によって圧排され、また静脈弁の存在によって防止されると主張した。そして次の胸腔内圧低下時には大動脈側では弁による逆流が防止され、静脈系では上昇した末梢組織圧によって右心系に血液が送られると想定した。このようにして閉胸式心マッサージによる胸腔内圧上昇によって血液の駆出が心拍動なしに行われることになるといわれる。しかしこのようにして胸腔内圧の上昇が閉胸式心マッサージによる循環エネルギーの源となっていて、閉胸式マッサージのように心室を直接圧迫することによるエネルギーが血液流動を発生せしめるのでないとすれば、胸腔を外部から圧迫して内圧を高めるよりも、むしろ内部、すなわち気道から内圧を上昇される方がより有効と考えられる。そこで、われわれは任意に吹送圧、吹送量が変えられる高圧吹送器を作製、これを用いて電気的に心室細動を発生させた雑種犬気道内に純酸素を吹送し、これをもって心蘇生を計ることができないかと試みた。

方 法

体重11.5±1.8kgの雑種成犬12頭をペントバルビタール(7~10mg/kg)の静脈内投与にて麻酔し、36フレンチサイズのチューブを経口的に気管内挿管し、ピストン型レスピレーター(Aika R-50S)にて調節呼吸を行った。麻酔の維持は笑気

*川崎医科大学麻酔科

(3l/min), 酸素 (1l/min) の混合ガスによるとともに, ペンタゾシン 5mg/kg を追加投与した. パンクロニウム 0.2mg/kg を用いて筋弛緩をえたらうで, 調節呼吸を維持した. 動物の右側頸部に小切開を加え, 右頸動脈を露出し, これに日本光電社製矩形波電磁流量計プローブ (FA030S, $\phi=3$ mm) を装着, また右腋窩部に小切開を加え, 右鎖骨下動・静脈を露出し, これらにビニールカテーテルを挿入, 先端をそれぞれ鎖骨下動脈分岐部, 右心房内に置いた. これらのカテーテルは圧トランスジューサー (MPU-0.5) に接続, それぞれの部位の内圧測定に用いた. 上記電磁流量計プローブは日本光電社製電磁流量計アンプ (MF-27) に接続されペン書きレクタグラム記録計 (RM-45) 上に心電図, 右心房圧, 動脈圧とともに記録した. 次に図 1 のように動物の腹部, 胸部 (第 3 肋骨下より腹部側) の部分に圧縮空気駆血帯 (Stille No. 20197-17) を全周にわたり装着し, 内圧 2 気圧で十分装着部位を圧迫固定しうることを確かめた (3 ~ 5 秒間).

動物の循環動態が安定した時点で各循環系諸因子の測定を行い, あわせて血液ガス, pH, base excess などの測定を行った. そして両腋窩部に挿入した電極から AC 125 ボルト, 2 ~ 3 秒の通電により心室細動を発生させた後, 1 分間放置し, 上記駆血帯にて所定の胸・腹部を 2 気圧にて圧迫,

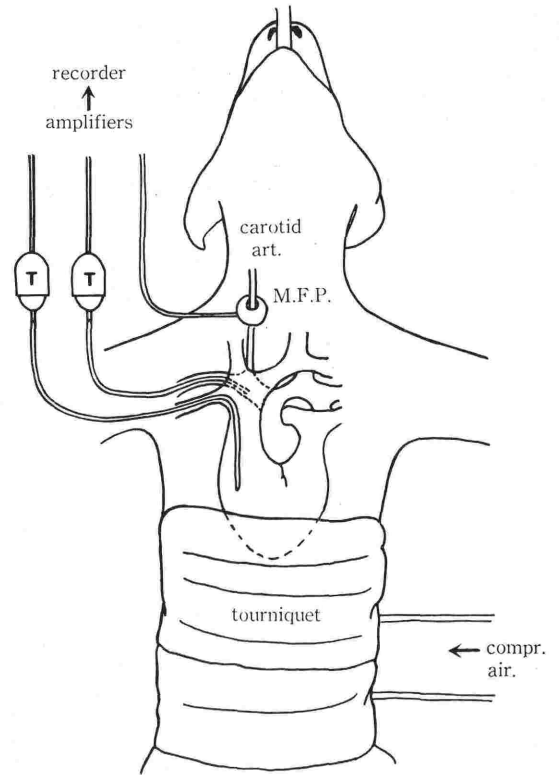


図 1. 実験犬における測定の設定

T : 圧トランスジューサー
M. F. P. : 電磁流量計プローブ

アイカ社製高圧吹送器——図 2——を用いて肺内に酸素を吹送し, 肺内圧を種々の吹送時間, 吹送

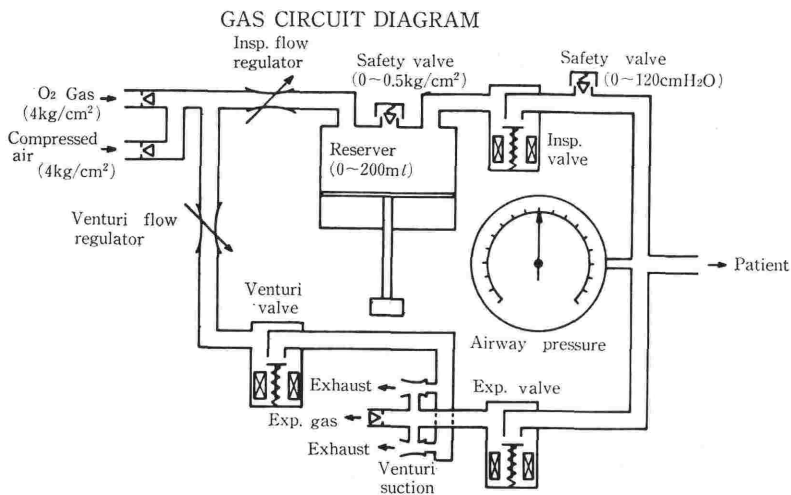


図 2. 高圧吹送器

この図においては圧縮空気も加えて使用できるようになっているが, 実際には使用しなかった. すなわち, 純酸素のみを用いた. また, Venturi flow を用いる回路が作られているが, これも実際には用いなかった. Reserver は 200ml と使用した. 吸気弁, 排気弁とも電磁弁にて構成されている.

回数にて1,500~1,800mmH₂Oに上昇させた。またこの際の1回換気量は30~35ml/kgであった。以下、実験は2部にわけられた。すなわち実験動物No.1~No.4については吹送時間と呼出時間とを種々に変化させ、より高い血圧、より大なる頸動脈流量がえられる吹送/呼出時間比、分時吹送回数について検討した。またNo.5~12については吹送時間/呼出時間比1:1で吹送回数60/分を用いての心蘇生について研究した。この研究の場合、人為心室細動導入後1分間放置した後、本法による心蘇生を試み、本法使用5分後にすべての生理学的諸因子の測定を行い、60~100 Watt・secの胸腔外除細動を使用し、正常心調律への回復に努めた。この間、心電図、動脈圧、右心房圧、頸動脈血流量、脳波を連続的に記録した。

統計処理は経時の変化についての群間比較に対してはF検定、単なる群間比較にはt検定を用いた。

成 績

1. 吹送時間、吹送回数の検討

1) 吹送・呼出時間比

吹送時間を0.5秒と設定、呼出時間を0.25, 0.40, 0.50秒と設定した時の大動脈圧、頸動脈血流量

量は表1左側のごとくであって、頸動脈血流量は呼出時間が0.25, 0.40, 0.50秒のそれぞれに対して8.8±2.2, 10.0±3.5, 15.6±5.6ml/minであった。また吹送期血圧についてもそれぞれ最高85.0±12.7, 92.5±10.9, 97.5±13.5mmHgであった(図3)。

図3は異なる吹送、呼出時間比をもって行った実際の記録である。この例でも吹送/呼出時間がそれぞれ、0.5/0.5秒であったときにおいて最大頸動脈血流量60ml/min, 平均15ml/min, 平均最高血圧85mmHgを記録し、他の吹送/呼出時間比の場合に比して、より大なる人工的血液拍出が行われていたように思われた。

2) 吹送回数

吹送/呼出時間比を1:1とした場合について吹送時間を種々に変化させたときの血圧、ならびに頸動脈血流量の変化は表1右側のごとくであった。吹送時間を0.35, 0.40, 0.50秒と変化させ、呼出時間を吹送時間に一致させたときの頸動脈血流量はそれぞれ6.5±2.0, 12.0±3.1, 15.8±5.6ml/minであり、吹送期最高血圧は76.3±8.2, 88.8±10.2, 97.5±13.5mmHgであった。図4は吹送/呼出時間は同じくして異なる吹送回数にて施行したときの実際の頸動脈血流量、動脈血圧、

表1. 異なる吹送/呼出時間比における、また異なる吹送回数(吹送/呼出時間比=1:1と固定)における動脈血圧、頸動脈血流量値

実験動物	吹送時間 呼出時間	動脈血圧(mmHg)		頸動脈血流量(ml/min)		吹送時間 呼出時間	動脈血圧(mmHg)		頸動脈血流量(ml/min)	
		吹送期/呼出期(平均)	(最大/最小)	最大/最小(平均)			吹送期/呼出期(平均)	(最大/最小)	最大/最小(平均)	
1	A	70 / 30	(45)	45 / ~ 40	(10)	D	70 / 25	(40)	60 / ~ 30	(10)
	B	80 / 30	(50)	50 / ~ 40	(10)	E	80 / 25	(45)	70 / ~ 35	(15)
	C	85 / 30	(45)	60 / ~ 25	(15)	C	85 / 30	(45)	60 / ~ 25	(15)
2	A	80 / 15	(45)	75 / ~ 40	(10)	D	75 / 15	(40)	70 / ~ 50	(5)
	B	90 / 15	(50)	80 / ~ 50	(10)	E	80 / 15	(40)	75 / ~ 40	(8)
	C	90 / 15	(50)	80 / ~ 30	(13)	C	90 / 15	(50)	80 / ~ 30	(13)
3	A	105 / 30	(50)	80 / ~ 60	(10)	D	90 / 30	(50)	75 / ~ 50	(5)
	B	110 / 30	(50)	80 / ~ 50	(15)	E	105 / 30	(50)	85 / ~ 50	(15)
	C	120 / 30	(55)	90 / ~ 30	(25)	C	120 / 30	(55)	90 / ~ 30	(25)
4	A	85 / 20	(35)	60 / ~ 40	(5)	D	70 / 20	(35)	55 / ~ 35	(0)
	B	90 / 20	(35)	65 / ~ 40	(5)	E	90 / 20	(40)	65 / ~ 35	(10)
	C	95 / 20	(40)	70 / ~ 30	(10)	C	95 / 20	(40)	70 / ~ 30	(10)

A : 0.50/0.25 sec...吹送回数 80.0/min
 B : 0.50/0.40 sec... / 66.7 /
 C : 0.50/0.50 sec... / 60.0 /
 D : 0.35/0.35 sec... / 85.7 /
 E : 0.40/0.40 sec... / 75.0 /

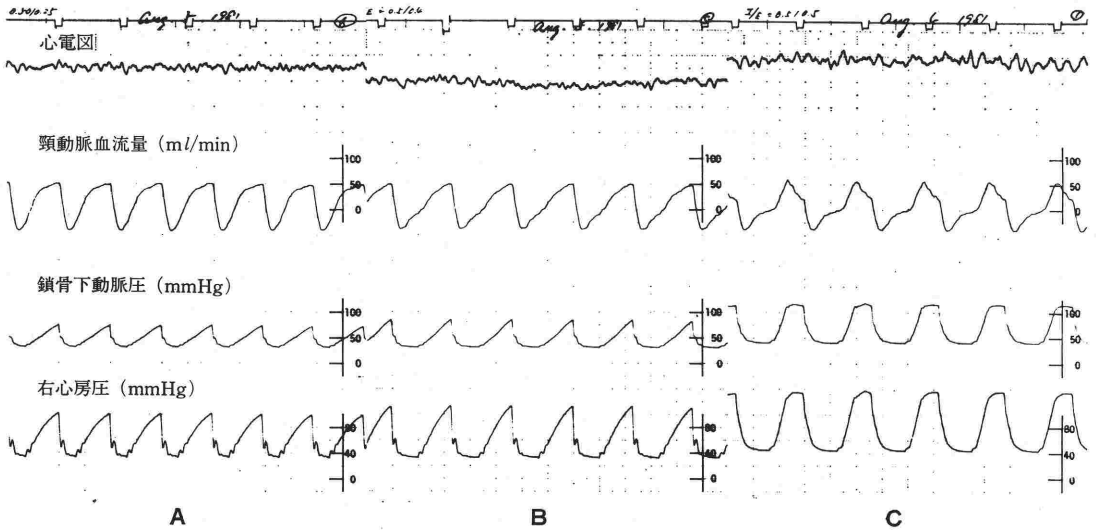


図3. 異なる吹送/呼出時間比で吹送を行った時の頸動脈血流量, 鎖骨下動脈圧, 右心房圧の記録

- A: 吹送/呼出時間比=0.50/0.25 sec
- B: 同 上 =0.50/0.40 sec
- C: 同 上 =0.50/0.50 sec

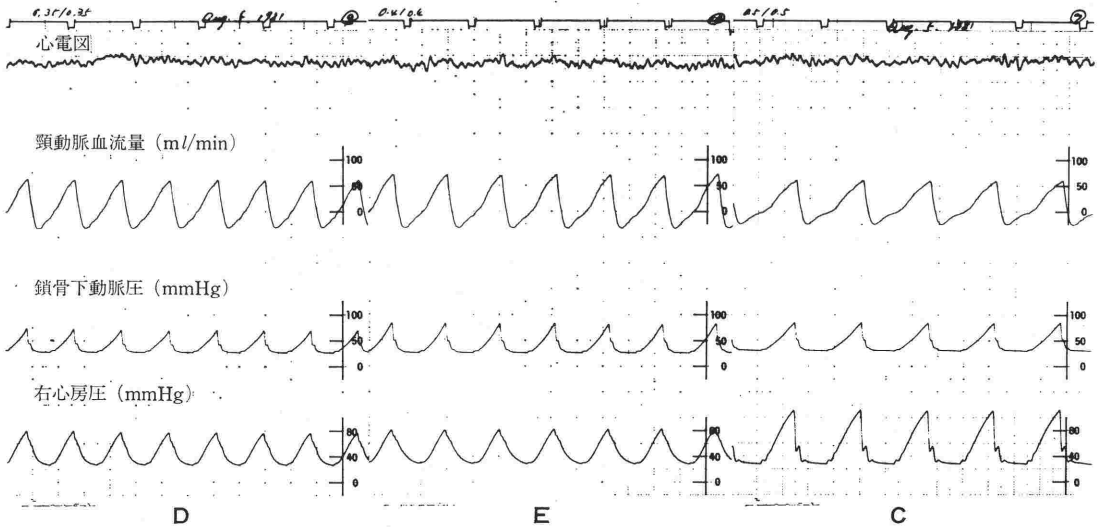


図4. 吹送/呼出時間1:1として異なる吹送回数にて行ったときの頸動脈血流量, 鎖骨下動脈圧, 右心房圧の記録

- D: 吹送回数=85.7/min
- E: 同上 =75.0/min
- C: 同上 =60.0/min

右心房圧の記録である。

右心房圧は図3, 4に示されるように動脈圧とほぼ等しいレベルに上昇し, かつその波型も動脈圧波型にほぼ等しいものを示した。

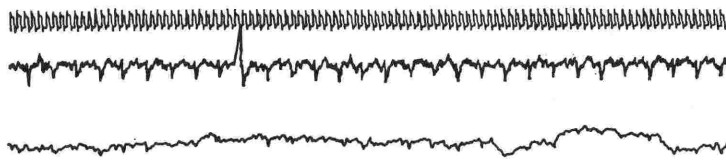
2. 心蘇生効果

No.5~12 の実験犬における本法施行時の測定値を表2に提示した。すなわち本法施行5分目の測定諸因子中, 動脈血圧は最高 93 ± 15 mmHg, 頸動脈血流量は 17 ± 5 ml/min とそれぞれ心停止前の55%, 19%を維持した。

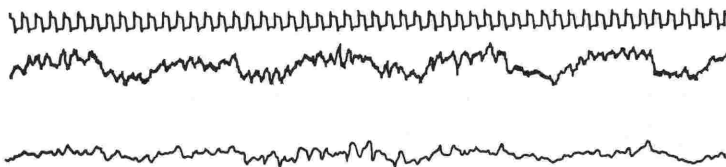
表 2. 心蘇生時施行前, および 5 分後の各測定因子

実験動物番	測定時間	動脈血圧 (mmHg) s/d	心拍数 (beats/min)	頸動脈血流量 (ml/min)	Pao ₂ mmHg	Paco ₂ mmHg	pH	B. E. mEq/l
5	心停止前	180/132	166	80	124	35.7	7.402	-2.0
		95/25	60	24	459	14.4	7.643	-3.5
6	吹送中	158/112	114	86	118	34.6	7.382	-4.8
		76/30	60	18	503	12.3	7.691	-3.8
7	"	190/150	198	100	122	37.5	7.363	-3.5
		95/25	60	20	472	15.2	7.732	+2.0
8	"	120/100	184	85	164	36.2	7.393	-2.5
		75/20	60	15	597	9.6	7.889	+4.0
9	"	170/140	220	82	102	28.9	7.412	-5.5
		125/65	60	8	339	12.3	7.680	-4.0
10	"	180/130	182	75	119	31.6	7.411	-3.5
		100/50	60	12	426	12.4	7.893	+7.2
11	"	170/135	180	92	114	36.8	7.320	-6.5
		85/30	60	—	468	10.6	7.722	-6.0
12	"	182/130	172	98	124	33.6	7.351	-5.5
		96/25	60	20	365	15.5	7.770	+0.5
平均 ± 標準偏差	"	169 ± 21 / 129 ± 15 93 ± 15 / 34 ± 15	177 ± 28 60 ± 0	87 ± 8 17 ± 5	123 ± 17 454 ± 75	34.4 ± 2.7 12.8 ± 2.0	7.379 ± 0.030 7.753 ± 0.087	-4.2 ± 1.5 -0.5 ± 4.3

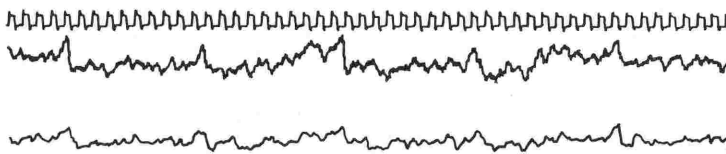
s/d : 収縮期圧 / 拡張期圧, または吹送期圧 / 呼出期圧



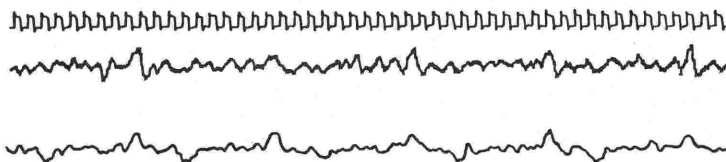
Before the cardiac arrest



15min after the cardiac arrest



20min



30min

図 5. 心マッサージ中の脳波変化
心停止後 1 分経過して以来, 心マッサージを開始し 30 分目まで続けている. この間数回の電氣的除細動を試みている.

Pao_2 は吹送開始5分目には $123 \pm 17 \text{ mmHg}$ から $454 \pm 75 \text{ mmHg}$ に上昇し, $Paco_2$ は $34.4 \pm 2.7 \text{ mmHg}$ から 12.8 ± 2.0 と著しく低下した. 動脈血pHも 7.379 ± 0.030 から 7.753 ± 0.087 と上昇した. Base excess は -4.2 ± 1.5 から -0.5 ± 4.3 と有意の変動を認めなかった.

実験犬 No. 5~12 について正常心調律への復帰を試みたが, 1例の成功も認められなかった. また同時に記録した脳波は図5に示すように心蘇生施行中, 次第に徐波化してゆくことが認められた.

考 察

従来, 胸腔外式心マッサージにおいては胸骨部圧迫時間を1回心周期の50%⁴⁾, また高胸腔内圧併用時には60%^{1,2)} にするとよりよい血液駆出がえられるといわれている. しかし今回われわれが用いた気道内圧上昇による肺血管床, あるいは胸腔内からの血液駆出について, これらの条件が適応されるか否か不明であった. そこで種々の条件, すなわち吹送/呼出時間比, 吹送回数について検討した結果, 前者では1:1, 後者では60回/分がもっとも効果的に血液駆出を行いうると判断しえた. 吹送/呼出時間比の組み合わせ, 呼吸回数との組み合わせについてはきわめて多くの組み合わせが考えられるが, 少なくとも非生理的なものと思われる組み合わせを除いて検討した結果, 上記条件に到達した. むろんこれらの条件以外にも加圧力, 気道内圧, 加圧速度などに関する研究が未だ十分に行われずに残っていることも事実である. しかし上記のごとくわれわれが試みた条件をもって経気道の肺内圧を上昇させ, 肺毛細血管床からの血液駆出を試みたところ, 確実に末梢への血流がえられることが認められた. そして頸動脈血流量は正常時の19%に達した. 一般の胸腔外式心マッサージでは正常頸動脈血流量の30%以下しかえられず, 時には10%以下になるといわれる. それに比較すれば今回行われた心マッサージの頸動脈血流量が正常時の19%であって, これによって心蘇生の希望が持てた.

胸-腹部への圧迫帯の装着は肺の過膨張, それにとまらう肺泡破裂を防ぐ意味においても不可欠である. さらにそれによって腹部, 下肢への血流を極力低下させ, 逆に脳, 心筋, 上肢への血流を増加させると考えられた. Yinらの研究⁵⁾にみら

れるように胸腔内圧を高めて血流を胸腔外へ誘導する場合, 末梢血管抵抗がその場合の血流に非常に大きな影響を与えていることが認められている. 今回の研究中, 上昇した胸腔内圧, 中心静脈圧は末梢静脈圧をも上昇させ, ひいては動脈側血流に対する抵抗ともなっていると考えられ, これが従来の胸腔外式心マッサージによって血液駆出をえる方法に比して効力を減じる方向に作用しているように思われる.

正常状態での静脈流は拍動性を有しながらもほぼ定常流を基礎に一方方向のみに流れている⁶⁾. しかし胸腔内圧が高くなると定常流を維持することが困難となり, 今回の実験中における呼出時においてみられる拍動流とならざるをえない. 吹送中は末梢血管系に血液が一時的に増加, 蓄えられ, 呼出期に中心静脈系に流れ出すものと思われる. しかし, 吹送中は transmural pressure として静脈壁に加わった力が静脈腔を狭小, あるいは虚脱状態に圧縮しているのであるから, 胸腔内圧が急に低下しても末梢から心房方向への血流の開始までにはわずかながら時間的な遅れを生じ, かつ血流再開時の血流速度は正常循環時のいずれの時相における血流速度よりも低下していると推測される. これが本法に伴う人為血流駆動において, 比較的不十分と思われる血流量しかえられなかった原因のひとつと考えられる. そして実際に心蘇生に本法を応用したところ, 8例中1例の成功例も経験できなかった. この点について反省してみるに問題点は本法の冠灌流に対する不十分さによるものと思われた. すなわち冠動脈血流量が心室細動の発生から生じた低酸素状態を改善させるのに十分でなかったものと考えられる.

正常拍動心においても冠動脈灌流圧と心室内圧, とくに拡張終末期圧との圧差が減少すれば冠血流量が減少する^{7,8)} ことが認められている. 今回の実験中, 吹送期, 呼出期ともに右心房圧と鎖骨下動脈分岐部圧とはまったく時相を同じくして, かつ同じ圧レベルで変動した. したがって冠動脈基底部から冠動脈末端に押し込まれる血液は同時相に生じた冠静脈系からの back pressure の抵抗によって流入が妨げられたものと思われる. たとえ時相が一致していても動脈側圧が back pressure よりも高圧であれば, これに抗して静脈側

への血流がえられたかもしれないが、本研究中ほとんどすべての例でみられるように動脈圧、右心房圧ともに同等であって、心筋内毛細血管床を介して右心房への血流はほとんどえられなかったものと思われる。これが最終的に本法を用いて心蘇生に成功しなかったもっとも大きな原因でないかと考えられる。これらの結果を総合してみるに、従来の胸骨圧迫による心マッサージ法では外部からの圧迫外力が心に達し、心腔を圧迫し血液を駆出させるのみならず、心筋内の血液を静脈側へ駆出し、次の瞬間に動脈側から血液を導入するのに作用しているものと思われる。今回われわれが試みた本法ではこの点に欠けるものがあつたと思われる。

今後、前述した気道内圧上昇の種々の条件について検討して、本法の心蘇生への応用を推進させる予定ではあるが、本法のようにたゞ胸腔内圧を上昇させる方法では十分な脳灌流がえられず、決定的な脳障害を来すという意見⁹⁾についても十分考慮を払わなければならないと思う。

文 献

1) Taylor, G. J., Tucker, W. M., Creene, H. L., Rudikoff, M. T. & Weisfeldt, M. L. : Importance of

prolonged compression during cardiopulmonary resuscitation in man. *New Engl. J. Med.* 296 : 1515~1517, 1977.
 2) Luce, J. M., Cary, J. M., Ross, B. K., Culver, B. H. & Butler, J. : New developments in cardiopulmonary resuscitation. *JAMA* 244 : 1366~1370, 1980.
 3) Rudikoff, M. T., Maughan, W. L., Effron, M., Freund, P. & Weisfeldt, M. L. : Mechanisms of blood flow during cardiopulmonary resuscitation. *Circulation* 61 : 345~352, 1980.
 4) Safar, P. : Cardiopulmonary Cerebral Resuscitation. W. B. Saunders Co., Philadelphia., p. 79~81, 1981.
 5) Yin, F. C. P., Cohen, J. M., Tsitlik, J., Zola, B. & Weisfeldt, M. L. : Role of carotid artery resistance to collapse during high-intrathoracic-pressure CPR. *Am. J. Physiol.* 243 : H259~H267, 1982.
 6) Spencer, M. P. & Denison, A. B., JR. : Pulsatile blood flow in the vascular system in "Handbook of Physiology ; Circulation II" by Am. Physiol. Soc. Washington, D. C., p. 839~864, 1963.
 7) Archie, J. P., Jr. : Transmural distribution of intrinsic and transmitted left ventricular diastolic intramyocardial pressure in dog. *Cardiovasc. Res.* 12 : 255~262, 1978.
 8) Dunn, R. B. & Griggs, D. M., Jr. : Ventricular filling pressure as a determinant of coronary blood flow during ischemia. *Am. J. Physiol.* 244 : H429~H436, 1983.
 9) Bircher, N. & Safar, P. : Comparison of standard and "new" closed-chest CRP and open-chest CPR. in dogs. *Crit. Care Med.* 9 : 384~385, 1981.

A b s t r a c t

Trial for transpulmonary cardiac massage in dogs

Yano, Hirofumi Yoshida, Hitoshi Ohsumi, Akiyuki
Sakai, Takayuki Takaori, Masuhiko

Department of Anesthesiology, Kawasaki Medical School
577 Matsushima, Kurashiki City, Okayama, Japan 701-01

Key Words : resuscitation cardiac massage intrathoracic pressure
coronary blood flow intraventricular pressure

High pressure lung inflation via an endotracheal tube was applied to squeeze the blood from the pulmonary vascular beds into the left heart chambers and further to push it into the peripheral capillaries in 12 dogs, in which ventricular fibrillation had been induced by AC shock, as substitute of conventional external cardiac massage with sternal compression.

The lower chest and upper abdomen were compressed by two air tourniquets with 2 A TA. The animals were ventilated in tidal volume of 30~35 ml/kg with 1500-1800 mm H₂O pressurized pure oxygen.

The ventilatory frequency and inflation/deflation ratio were varied to obtain maximum systolic pressure of the subclavian artery and

maximum flow rate in the carotid artery, in the 4 animals and the best combination of ventilatory frequency of 60 times/min, with 1:1 of inflation/deflation ratio was determined.

Practical cardiac resuscitation was carried out in the remained 8 animals, who were left in place for one minute after ventricular fibrillation induced, by the means as mentioned above. Unfortunately none of the animals was restored their own heart beats.

One of the causes of the failure in cardiac resuscitation was supposed that the concomitant elevation in the right atrial pressure blocked blood inflow from the arterial side into the intra-myocardial capillaries.