

Ear Densitography による術中の 非観血的な心機能測定法

藤瀬 久美子* 松本 早苗* 今西 敏博*
内田 盛夫* 松谷 正秀** 杉浦 哲朗**
岩坂 壽二**

要 旨

ホルター心電図と Photoelectric plethysmograph とからなる Ear Densitography (EDG) を用いて、各麻酔中 (NLA+GO, GOF, GOE, 硬膜外麻酔, 脊髄麻酔) の血圧, 心拍数変化および術中の各処置に対する Systolic Time Intervals (STI) の変化を検討した。EDG は術中の各処置による循環動態の変化や循環パラメーターの変化に対して鋭敏に反応し、心機能の時間的推移を観察することができた。また、本法は術中の体位や手術操作による影響も少なく、比較的安定した波形を得ることができ、各麻酔法による心機能への影響の違いも明瞭にし得た。

はじめに

現在、さまざまな麻酔中のモニタリングシステムが開発されている。麻酔科領域における術中の心機能モニターは、使用される薬剤、さまざまな病態の変化を鋭敏かつ連続的に捕らえることが望ましい。また、手術部位や体位による制限をいかに克服するかという問題もある。また、術中の循環動態の変化を解釈するには、大きくかつ瞬時に変動する前負荷、後負荷、心収縮性、心拍数などの諸因子を同時に測定することが望ましい^{1), 2)}。

しかし、現在の手術室における循環系のモニターとしては、重症例や特殊な場合を除いて、心電図と非観血的な血圧測定を用いているのが現状であ

り、循環系モニターというよりもバイタルサインのモニターとしての域を出ない。そこで我々は、比較的簡単に心ポンプ機能を把握できる心機能図に注目した。即ち、心機能図は心臓ならびに血管系にまつわる機械的現象を体外より非観血的に記録するものである。現在、一般に使用されている心機能図、なかでも、頸動脈波、心電図、心音図の同時記録により測定される左室収縮時相 (Systolic Time Intervals, STI) は臨床的評価も一定したものがある³⁾。しかし、これを手術室でのモニターとして使用するには、心電図や頸動脈波のプロベ装着のため、胸部、腹部の手術では使用できないということ、プロベによる頸部圧迫のため副交感神経刺激も考えられること、また、術中に体動や手術操作による artifact が入り、波形分析が困難であるといった問題がある¹⁾。そこで、我々は EDG を用いることにより上記の問題点をほぼ克服して STI の計測を可能にした。即ち、EDG 自体は非常に簡単かつ軽量な装置であり、術野や手術体位による制限もほとんどなく、波形の安定性にも優れており、術中の非観血的な心機能モニターの一つとして、今後、有用と思われたので、症例呈示を含めて報告する。

EDG とは

EDG とは写真 1 に示すように、ホルター心電図と耳介につけた photoelectric plethysmograph (光電容積脈波形) からなり、ホルター心電図のテープ内に心電図と脈波を同時記録し、これを後に再生し、必要な時点での STI の計測が可能と

*関西医科大学麻酔学教室

** 同 第2内科学教室

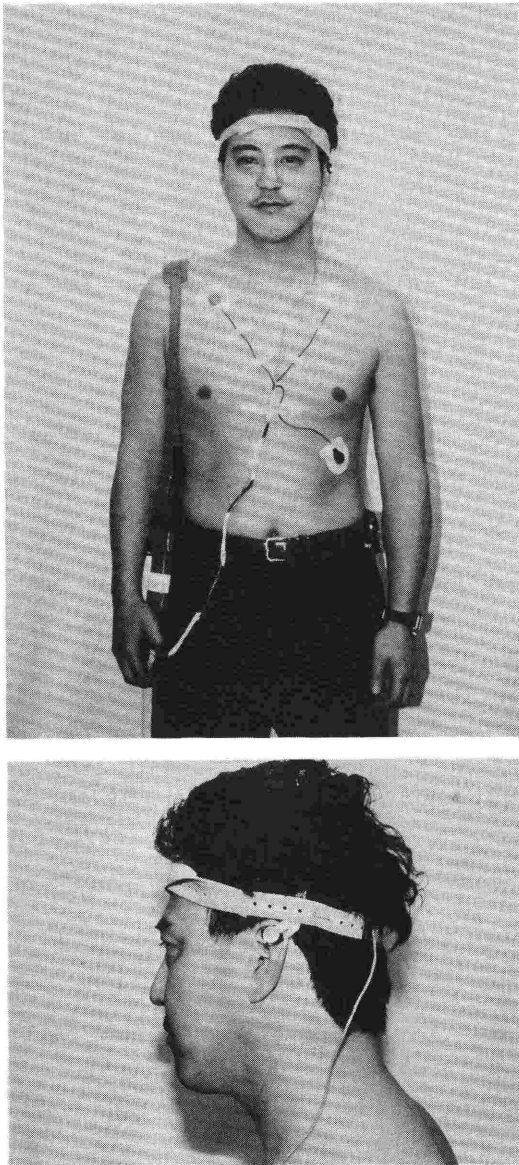


写真1

トランスジューサー部

増幅部

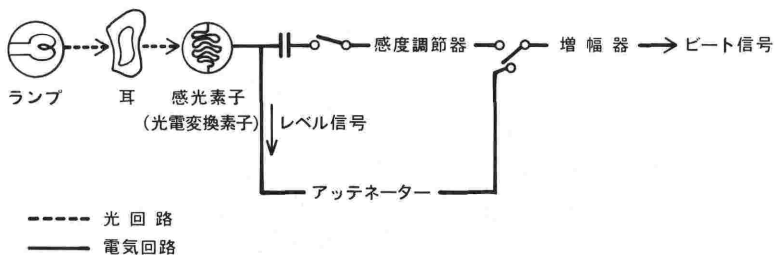


図1

なる。

次に本装置の原理を図1に示して説明する。生体組織の光による透過、又は反射を利用して、光量の変化により血液量を記録する。血管が容積変化を起こす際のその血管のセグメント内のヘモグロビン変動量(容積変動量)を取り出し、これを記録するのが原理である。容積変動量を光電変換するのに、CdS(硫化カドミウム)あるいはその特性を改良したCdSe(セレン化カドミウム)を使用している。心拍毎に生ずる動脈圧変動は末梢に伝わり、末梢血管に容積変化を起こさせる。この容積変化を光学系を用いて電気変化として検出し、脈波曲線として記録させている^{4),5)}。

EDG による STI の求め方

EDG による STI の求め方は、基本的には従来の STI の計測と同じである(図2)。EDG においては心音図が省かれ、頸動脈波の代わりに耳介につけた EDG の脈波の一次微分波形とホルター心電図との同時記録による波形分析によって、Pre-ejection period (PEP), Left ventricular ejection time (LVET) の各左室収縮時間を求める事ができる^{4),6)}。

PEP: pre-ejection period

心電図のQ波の始まりから大動脈への駆出が始まるまでの時間をあらわす。EDG では心電図のQ波から EDG の上行脚開始点までの時間より PTT を引いたものを用いる。

LVET: left ventricular ejection time

大動脈弁が開放され、左室からの血液の駆出が始まってから、大動脈弁が閉鎖し、II音の大動脈成分が生ずるまでの時間を指す。EDG では脈波の上行脚開始点から下行脚最下点までの時間である⁷⁾。

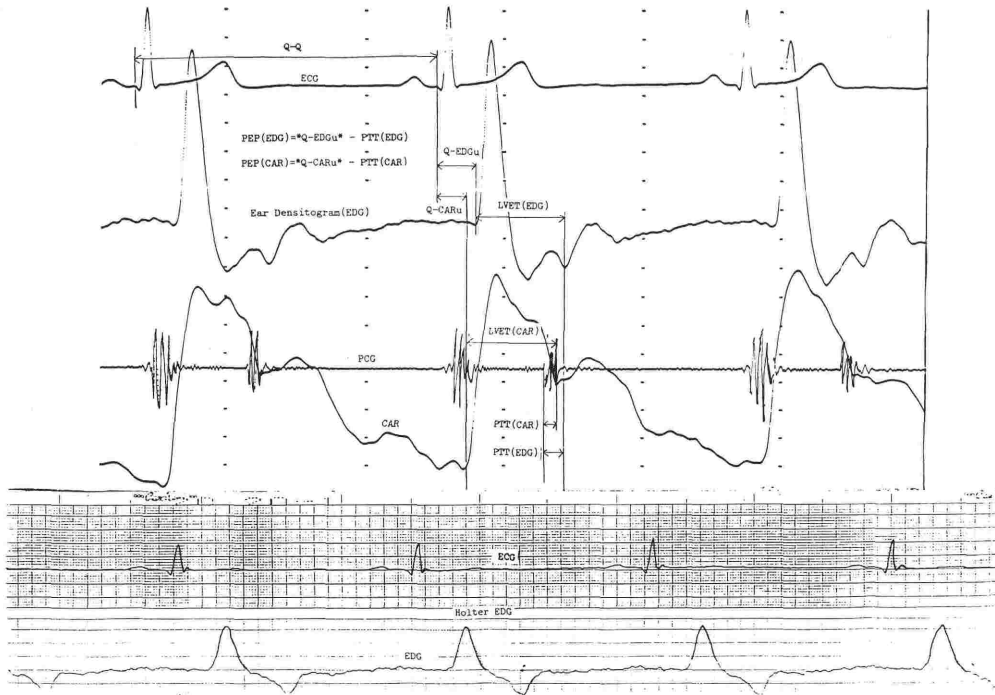


図2 EDG 脈波と頸動脈脈波の対比
下2段の波形 (ECG, EDG) が実際にホルター心電図内に記録される波形

PTT: pulse transmission time

大動脈基部圧波から各動脈脈波への伝達時間を考慮する必要がある。すなわち Π_a は大動脈の閉鎖音であり、大動脈基部圧波の切痕は弁閉鎖による血流エネルギーにより生じるとされており、それ故、両者はほぼ同時点にある。これを利用して頸動脈波では (Π_a - 頸動脈脈波切痕時間) として示す。EDG においても同様に Π_a と EDG 脈波の下行脚の最下点までの時間として測定する。また、同一人において PTT はほぼ一定と考えられるので、心音図の記録は術前の一回だけで良く EDG 記録中は省略できる⁸⁾。

対象と方法

ASA risk 1~3 の術前検査にて明らかな心疾患を否定した、整形外科の大腿および下腿の手術を受ける31名を対象とした。年齢は33歳から88歳、平均年齢 63.8 ± 14.1 歳で、75歳未満群と75歳以上群の2群に分類した。男性13名、女性18名で、麻酔方法の内訳は NLA+GO 6例、GOE 7例、GOF 4例、硬膜外麻酔9例、脊髄麻酔5例である。手術2日前に病室にて PTT を心音図と

EDG を用いて計測し、同時にコントロールの STI 値も測定した。手術当日は入室後に EDG を装着してから、各麻酔の導入を開始し、手術終了時まで記録を続けた。後日、100 mm/sec のペーパースピードにおける EDG 波形より5~10心拍平均の PEP, LVET, P/E を測定した。各麻酔導入前値に対するその後の血圧、心拍数の変化率と各 STI 値の変化率との関係、また、術中の各操作と STI 値との関係について検討を加えた。

症例提示

EDG による観察が特に有用であったと考えられる症例を提示する。

NLA+GO の一例では (図3)、サイアミラルによる導入とそれに続くドロペリドール、フェンタニルの静脈投与による軽度の血圧低下に反応して %PEP, %P/E の増加および一過性の %LVET の減少を呈し、心機能の低下を示している。その後の手術刺激による血圧上昇によって、%PEP, %LVET, %P/E は減少傾向を呈し、心機能の亢進を示している。また、ニフェジピン投与により %PEP, %P/E は減少傾向を、

N L A

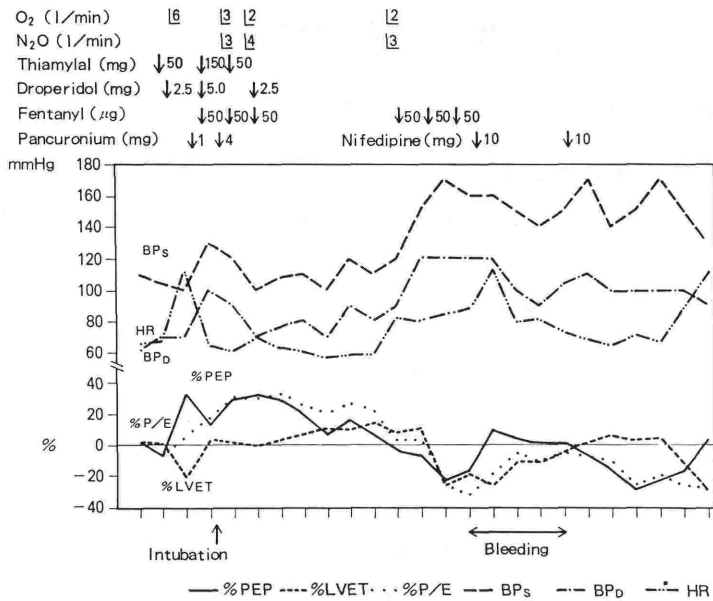


図 3

%LVET は増加傾向を示し、後負荷低下による心機能亢進を描出し得たと考えている。出血によって %PEP, %P/E は増加傾向を示し、前負荷の減少による心機能低下を表している。GOF 麻酔の一症例では (図 4-1), ハローセンの吸入濃度増加により %PEP, %P/E の増加傾向と %LVET の減少傾向を示し、大腿部へのタニケット使用によりさらにこれらの変化が著明となり、心ポンプ機能に対する抑制が増強されているのが分かる。GOE の麻酔効果による血圧低下で

は (図 4-2), %PEP, %P/E の増加傾向を示し心機能低下を表しており、エンフルレンの中止により血圧が回復すると, %PEP, %P/E の減少傾向, %LVET の増加傾向を示し心機能の改善を表している。硬膜外麻酔の症例では (図 5-1), 2%リドカインの注入による血圧低下で, %LVET の増加, %PEP, %P/E の減少が見られ、この症例に関しては前負荷の減少以上に後負荷の低下による心機能亢進が推測される。また、大腿部へのタニケットの使用により血圧が上昇す

G O F

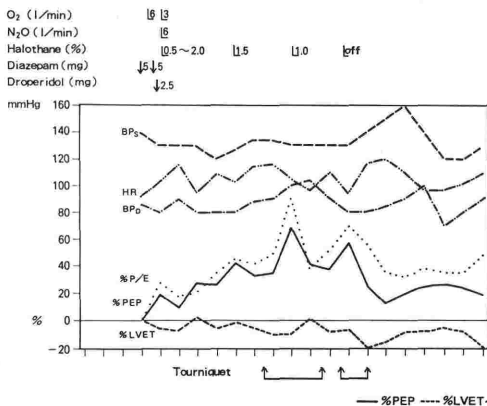


図 4-1

G O E

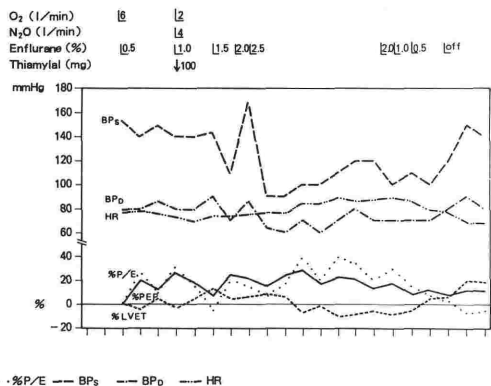


図 4-2

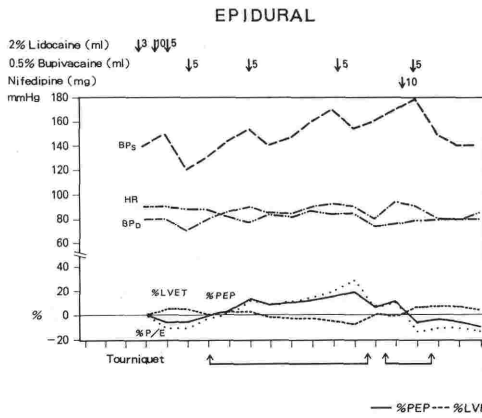


図 5-1

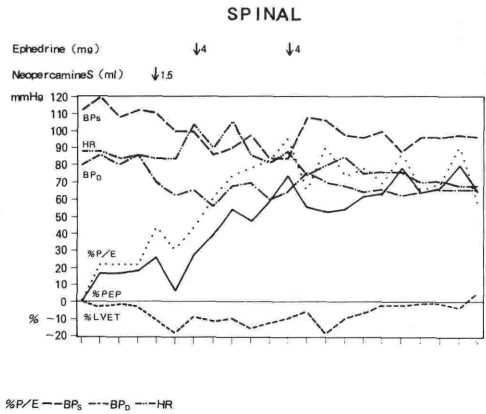


図 5-2

ると %LVET の減少, %PEP, %P/E の増加が生じ, 前負荷の減少, 後負荷増大による心機能低下が考えられる. タニケット解除およびニフェジピンの投与によりこれらの変化の逆転が見られ, 心機能の回復が推察される. 脊髄麻酔の症例では (図 5-2), ネオペルカミン S[®] 注入による血圧低下により %PEP, %P/E の増加傾向および %LVET の減少は著明で前負荷減少による心拍出量の低下が推測される.

成績並びに考察

各麻酔法における血圧と心拍数の変化率と各 STI 値の変化率との関係は (表 1), 75歳未満群においては, GOE では血圧の変化率と %PEP, %P/E の変化率が, 心拍数の変化率と %PEP, %LVET の変化率が逆相関を示し, エンフルレンにより血圧が低下したり, 徐脈になった場合には心機能抑制を示唆している^{9), 10)}. GOF では, 血圧と心拍数の変化率と各 STI 値の変化率とは非常に良く相関を示し, エンフルレンよりもその関係はより一層明瞭となっている. この成績はハロセンが諸家の報告の如く心機能の抑制が大であるため, 血圧, 心拍数にその関係が表れたと考える^{10), 11), 12)}. NLA 麻酔では, 血圧の変化率とは各 STI 値は相関を示さず, 心拍数の変化率と %PEP, %LVET の変化率とが相関を示すのみで, 血圧の変化が心送血量と末梢血管抵抗との積であることを考えると, 心機能への影響の結果ではなく, 末梢血管抵抗が一義的に働いたものと考

える. 硬膜外麻酔では, 血圧の変化率と %PEP, %P/E の変化率が, 心拍数の変化率と各 STI 値の変化率とが逆相関を示し, 同様に心機能への影響が考えられる¹³⁾. 脊髄麻酔では, 血圧の変化率と %LVET の変化率が, 心拍数の変化率と %PEP, %LVET の変化率とが逆相関を示すのみで, 硬膜外麻酔と比較すると各 STI 値と血圧, 心拍数の変化率との相関が低い. これは脊髄麻酔による血圧, 心拍数の変化は末梢血管抵抗, 自律神経系により生じており, 心ポンプ機能そのものを変化させる効果は少ないと考える. 次に最近が高齢者の麻酔の機会も増加の傾向にあるが, 表 1 に示す如く 75歳以上群では, 血圧, 心拍数の変化率に対する STI の変化率の追従性は, 75歳未満群に比して劣るものであった. 即ちこの成績は 75歳未満群では手術中の管理において, 血圧, 心拍数の変化によりある程度, 心機能への影響が判断できるが, 高齢者においては, 循環動態の変動が一定の傾向を示さずわずかな血圧, 心拍数の変化が STI に大きな変化を与える場合が多く, 換言すれば, 従来の血圧, 心拍数のみに頼った循環モニターは極めて不十分かつ注意を要するものと言わざるを得ない. しかし, STI といえども非観血的方法である利点を有するものの, 観血的検査法に比してその精度は低く, 関与する因子も多いことは考え合わせる必要がある. 例えば PEP は心収縮性と良く相関するが, 前負荷の影響も受けやすい. LVET は心拍出量をよく反映するが後負荷の影響も受けやすい. また, P/E は心ポンプ

表 1

	75 歳 未 満	75 歳 以 上
GOE (7人)	N=34	N=25
%BP-%PEP	-0.471 (p<0.01)	-0.154 (NP)
%LVET	-0.012 (NP)	0.057 (NP)
%P/E	-0.509 (p<0.01)	-0.165 (NP)
%HR-%PEP	-0.427 (p<0.02)	-0.183 (NP)
%LVET	-0.842 (p<0.001)	-0.364 (NP)
%P/E	0.062 (NP)	0.020 (NP)
GOF (4人)	N=55	N=9
%BP-%PEP	-0.902 (p<0.001)	0.720 (p<0.10)
%LVET	-0.699 (p<0.001)	0.600 (p<0.10)
%P/E	-0.575 (p<0.001)	0.480 (NP)
%HR-%PEP	-0.860 (p<0.001)	-0.785 (p<0.02)
%LVET	-0.871 (p<0.001)	-0.342 (NP)
%P/E	-0.389 (p<0.01)	-0.659 (p<0.10)
NLA (6人)	N=84	
%BP-%PEP	-0.003 (NP)	
%LVET	-0.078 (NP)	
%P/E	-0.142 (NP)	
%HR-%PEP	-0.564 (p<0.001)	
%LVET	-0.773 (p<0.001)	
%P/E	-0.030 (NP)	
Epidural (9人)	N=16	N=39
%BP-%PEP	-0.498 (p<0.05)	0.121 (NP)
%LVET	-0.227 (NP)	-0.068 (NP)
%P/E	-0.498 (p<0.05)	0.106 (NP)
%HR-%PEP	-0.792 (p<0.001)	-0.445 (p<0.01)
%LVET	-0.619 (p<0.02)	-0.552 (p<0.001)
%P/E	-0.712 (p<0.01)	-0.123 (NP)
Spinal (5人)	N=36	N=5
%BP-%PEP	-0.054 (NP)	-0.984 (p<0.01)
%LVET	-0.410 (p<0.02)	0.240 (NP)
%P/E	0.051 (NP)	-0.896 (p<0.05)
%HR-%PEP	-0.420 (p<0.02)	0.434 (NP)
%LVET	-0.554 (p<0.001)	0.568 (NP)
%P/E	-0.241 (NP)	0.678 (NP)

機能の指標である ejection fraction や stroke index などとの相関がいられている^{14), 15), 16)}。しかし、この指標も心拍出量を規定する諸因子の影響は当然受ける。EDG による STI のみで心機能を判断するには、当然、限界がある。しかし、他のモニターとの併用により、例えば血圧が上昇した場合、昇圧効果とその時点で心機能抑制に結びつくのか、あるいは心送血量増加によるもので心機能抑制ではないのかなど、より立体的にかつ早期に麻酔中に生じる循環動態の変化を捕らえることが可能であると考えられる。また、本法は非観血的なモニターであり、観血法における患者への侵襲性、危険性などに比較して有利である。また、検査が容易で装置が簡単であること、長時間持続的に記録ができ、経時的に追跡できること、従来の STI と比較して体動や操作による artifact の混入が少ないなどの利点もある。既に、STI のコンピューターによる on-line 化も報告されており¹⁷⁾、近い将来 real-time での分析も可能と考えられ、現在用いられている心電図や pulse oximeter のように非観血的な術中モニターとしての利用も期待される有望な方法である。

ま と め

- 1) 整形外科において大腿および下腿の手術を受ける31名を対象とし、各麻酔法における手術中の心機能を EDG により測定した。
- 2) 各麻酔法別による血圧、心拍数の変化率と STI 値の変化率との相関を求め検討を加えた。
- 3) EDG は循環動態の変動や術中の各処置に対し鋭敏に反応した。

本論文の要旨は International Symposium on Cardiovascular Anesthesiology (神戸, 1987) および第7回日本臨床麻酔学会(岐阜)において発表した。

参 考 文 献

- 1) 剣物 修: Non-invasive circulatory monitoring の問題点. 循環制御 1: 8-23, 1980.
- 2) 後藤康之: 麻酔科領域における心機能測定法. 麻酔 27: 787-791, 1978.
- 3) 稲垣義明, 宿谷正毅: VII, 心機能の有用性, 循環器

疾患の非侵襲的検査—有用性と限界—. 稲垣義明編. 東京, 朝倉書店, 1982, p. 199-224.

- 4) Haffty, B. G., Kotilainen, P. W., Kobayashi, K., Bishop, R. L., Spodick, D. H.: Development of an Ambulatory Systolic Time Interval Monitoring System. *J. Clin. Eng.* 2:199-210, 1977.
- 5) Chirife, R., Spodick, D. H.: Densitography: A new method for evaluation of cardiac performance at rest and during exercise. *Am. Heart J.* 83:493-503, 1972.
- 6) Lance, V. Q., Spodick, D. H.: Systolic time intervals utilizing ear densitography Advantages and reliability for stress testing. *Am. Heart J.* 94: 62-66, 1977.
- 7) Quarry-Pigott, V., Chirife, R. and Spodick, D. H.: Ejection Time by Ear Densitogram and Its Derivative Clinical and Physiologic Applications. *Circulation* 48:239-246, 1973.
- 8) Spodick, D. H., Lance, V. Q.: Noninvasive Stress Testing Methodology for Elimination of the Phonocardiogram. *Circulation* 53:673-676, 1976.
- 9) 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.
- 10) 剣物 修, 一瀬広道, 真弓享久, 萩原 隆, 岩崎寛, 青木 充, 高橋長雄: Halothane/N₂O および enflurane/N₂O 麻酔の PEP, LVET におよぼす影響. *麻酔* 27: 578-583, 1987.
- 11) Kaplan, J. A., Miller, E. D., Bailey, D. R.: Comparative Study of Enflurane and Halothane Using Systolic Time Intervals. *Anesth. Analg.* 55: 263-268, 1976.
- 12) 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1報 GOF 麻酔における評価—. *臨床麻酔* 6: 1119-1125, 1982.
- 13) 剣物 修, 一瀬広道, 岩崎 寛, 矢尾久美子, 高橋初美, 高橋長雄: 硬麻, 脊麻の心機能に及ぼす影響—非観血的方法による観察—. *麻酔* 26: 1523-1531, 1977.
- 14) Reitan, J. A., Barash, P. G.: Noninvasive Monitoring, Monitoring in Anesthesia. Second Edition. Edited by Saidman L. J., Smith N. Ty., Boston, BUTTERWORTH PUBLISHERS, 1984, p. 144-157.
- 15) Garrard, C. L Jr., Weissler, A. M., Dodge, H. T.: The Relationship of Alterations in Systolic Time Intervals to Ejection Fraction in Patients with Cardiac Disease. *Circulation* 42:455-462, 1970.
- 16) Wexler, L. F., Pohost, G. M.: Hemodynamic Monitoring Noninvasive Techniques. *Anesthesiology* 45:168-170, 1976.
- 17) Dauchot, P. J., Rasmussen, J. P., Nicholson, D. H., Divers, R. T., Katona, P. G., Zollinger, R. M., Knoke, J. D., Kyo, E. W., Gravenstein, J. S.: On-line Systolic Time Intervals during Anesthesia in Patients with and without Heart Disease. *Anesthesiology* 44:472-480, 1976.