

## Ear Densitography の麻酔科的応用

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

## はじめに

現在、心循環系のモニターとして、さまざまなものが開発されており、心電図 (ECG)、心エコー図<sup>1)</sup>、食道ドプラなどの非観血的方法<sup>2)</sup>、Swan-Ganz カテーテルなどを利用する観血的方法などがある。麻酔科としてこれらを利用するには、①安全である、②操作が簡単である、③確実かつ再現性がある、④外部からの影響を受けにくい、⑤経済的であるといった条件を満たす必要がある<sup>3,4)</sup>。

Ear Densitography (EDG) は米国において開発され<sup>5,6)</sup>、心筋梗塞患者の運動時における心機能測定や治療効果の判定など<sup>7,8)</sup>、主に内科領域で用いられていた。我々はこの EDG の体動などにあまり影響されにくいという、従来の左室収縮時相 (STI) 測定装置には見られなかった利点を麻酔中のモニタとして利用できないかと考え、臨床応用を試みこれまでも EDG の麻酔科的有用性を報告してきた<sup>9-11)</sup>。本稿では、これまでの吸入麻酔薬および血漿増量剤による STI の変動に関する報告に新しい研究結果を加えて EDG の有用性について論述する。

## EDG とは

従来の STI 測定装置は頸動脈波、ECG、心音図 (PCG) の三つを組み合わせることにより STI を測定することができる。EDG とは本来、耳介

に装着する光電容積脈波計のことであるが、それをホルタ心電図に組み込むことにより ECG 波形と合わせて STI を測定できる装置を開発した (Fig. 1)。Fig. 2-1 は STI の計測法を示す。STI の測定諸量としては、駆出前期 (PEP)、駆出期 (LVET)、PEP/LVET 比 (P/E)、拡張期時間などがあげられる。この図の下段の PCG は説明のために示す。ホルタ EDG で得られる波形は脈波と ECG のみで PCG は省略している (Fig. 2-2)。これは PEP を計算する時に使用する pulse transmission time: PTT (脈波伝達時間) がこれまでの研究で、同一人では安静時も運動時も一定という結果が得られているからで<sup>12,13)</sup>、PEP を計算するには、いずれかの時点で一回 PTT を測定しそれを用いている。STI と他の心機能諸量との相関も高く<sup>14,15)</sup>、EDG によって測定した STI 値と従来の STI 値も  $r=0.98\sim 0.99$  という高い相関を示している<sup>5,16,17)</sup>。Swan Ganz カテーテルを

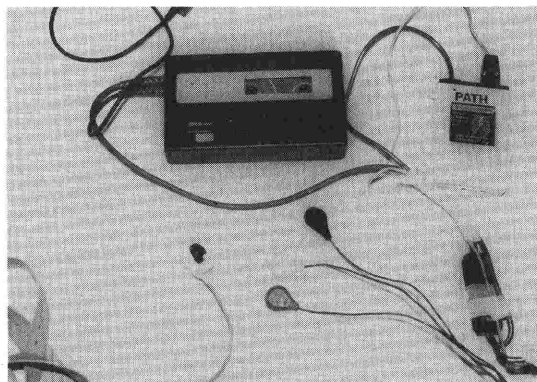


Fig. 1 Continuous ear densitographic monitoring system.  
 Channel 1 retains its ECG function.  
 The EDG signal is reorded in channel 2.

\*関西医科大学麻酔科学教室

\*\*関西医科大学第二内科

\*\*\*大阪府済生会野江病院循環器内科

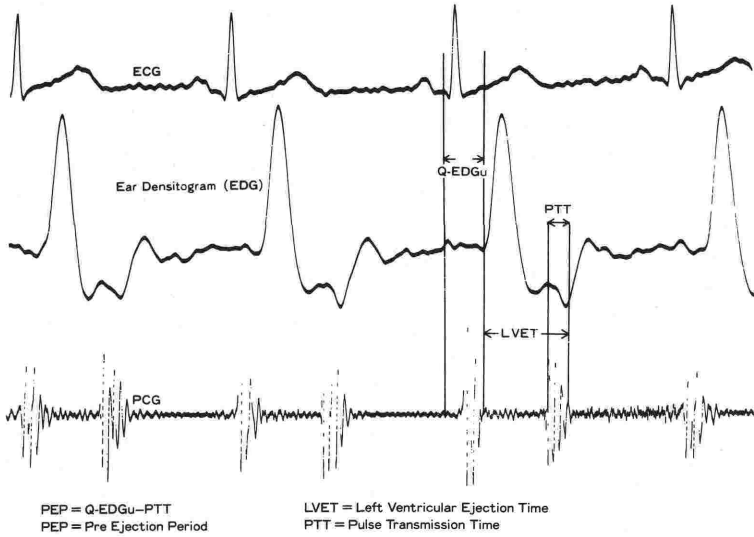


Fig. 2-1 Measurements of Systolic Time Intervals by EDG.



Fig. 2-2 A tracing recorded by Holter Monitor.

Table 1 Correlation between STI variables measured by EDG and hemodynamic variables measured using a Swan-Ganz catheter

% change (EDG)	SV	PCWP
PEP	$r = -0.48^{**}$	$r = -0.55^{**}$
LVET	$r = 0.74^{**}$	$r = 0.38^*$
PEP/LVET	$r = -0.73^{**}$	$r = -0.57^{**}$

\*:  $p < 0.01$  \*\*:  $p < 0.001$

SV: stroke volume  
 PCWP: pulmonary capillary wedge pressure  
 r: correlation coefficient

用いて測定した循環諸量と EDG により測定した STI 値との関係においても、肺動脈楔入圧 (PCWP) と PEP が、一回拍出量 (SV) と LVET, SV と P/E がそれぞれ良好な関係を有している (Table 1).

### 対象および方法

リスク 1~2 の整形外科、婦人科の予定手術を受ける 74 歳以下の患者 66 名を対象とした。なお、これら対象において心臓弁膜症、心筋症、心筋梗塞症、重症高血圧症、WPW 症候群、脚ブロック、著しい不整脈を示す例は除外した。患者が手術室

に入室すると ECG, 非観血的血圧計および EDG を装着し, EDG の記録を開始後, 麻酔の導入を始め, 手術終了時まで EDG の記録を行った. PTT は術前あるいは術後に一回測定し, PEP を計算するとき用いた. 術後 100 mm/秒の紙送り速度における 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 (%SAP,

%HR) 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.

各麻酔法による術中の STI 値の変化と解釈  
—代表例の提示— (Fig. 3)

エンフルレン/笑気麻酔 (GOE) : 56歳女性, 右大腿骨頭壊死のため右大腿骨頭置換術を施行し

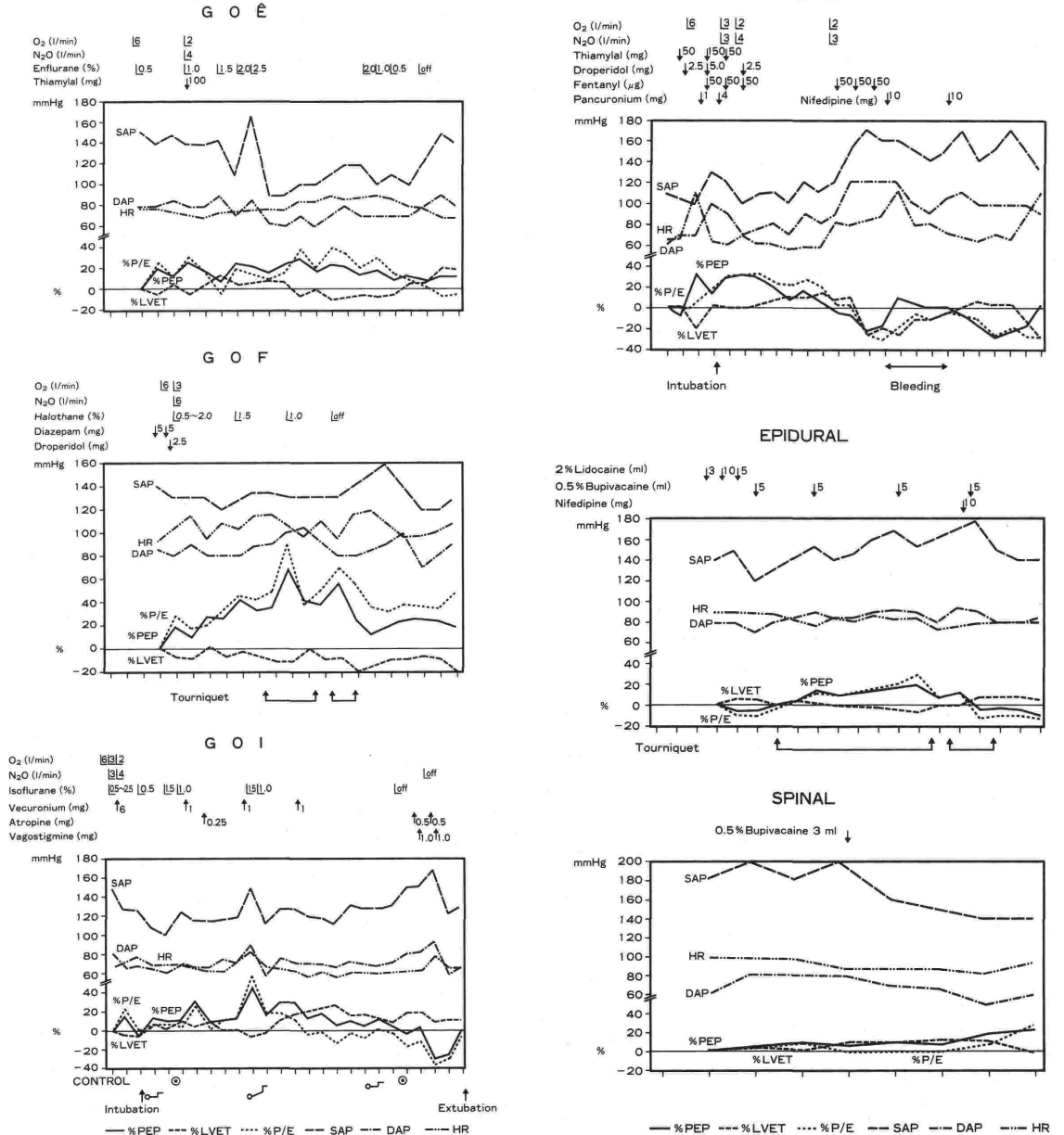


Fig. 3 The relationship between hemodynamic changes and % changes in STI variables during various kinds of anesthesia.

た。血圧上昇に対してエンフルレンの濃度を上げることにより血圧の制御を試みた。この間 P/E は増加, LVET は短縮を示し, 心ポンプ機能の低下が考えられた。また麻酔薬の投与を中止することにより P/E は正常化した。

ハロセン/笑気麻酔 (GOF): 39歳男性, 慢性関節リウマチの診断のもと左膝関節置換術が行なわれた。ハロセンによる導入が開始されてから P/E は終始増加を示し, 特にタニケットを使用している間の P/E の増加は著明で, さらにハロセン麻酔を終了しても STI 値は導入前値に復さず, 心ポンプ機能の低下が遷延したことが示唆された。

イソフルレン/笑気麻酔 (GOI): 67歳女性, 子宮脱, 膀胱脱の診断のもとに陰式子宮全摘出術が施行された。ハロセンと比較すると循環動態の変化は少なく, 徐脈に対して投与したアトロピンに反応して頻脈, 血圧上昇がみられ, STI 値の変化からみた心機能改善が示唆された。また, 麻酔薬投与中止によりさらに P/E の低下, PEP の短縮が速やかに見られ, 心機能の回復も早いと考えられた。

Neuroleptanesthesia (NLA): 51歳男性, 左大腿骨無腐性壊死のため左大腿骨頭置換術が行なわれた。ドロペリドール, フェンタニール, サイアミラルールの投与により P/E は増加し, その後, 回復に向かっていた PEP は出血とともに延長傾向を示し前負荷の減少と考えた。血圧上昇に対するニフェジピン投与により P/E は低下を示し, 後負荷軽減による心ポンプ機能の改善が示唆された。

硬膜外麻酔: 54歳女性, 慢性関節リウマチの診

断のもとに左膝関節置換術が施行された。前述した吸入麻酔薬による全身麻酔と比較して2%リドカイン, 0.5%プピバカイン投与による各 STI 値の変化は少なく, 循環動態の変化も少ないと考えられる。しかし, やはりタニケットの使用により P/E の増加, PEP の延長, LVET の短縮がみられ静脈還流減少, 即ち前負荷減少による心拍出量低下が推察された。

脊椎麻酔: 82歳女性, 左大腿骨頸部骨折の診断のもとにエンダー釘による固定術が施行された。本症例は本稿における対象年齢からははずれるが, 参考として提示する。0.5%プピバカイン投与後約20分で緩徐な血圧の低下に伴い P/E の増加, PEP の延長, LVET の短縮が見られ, ネオペルカミンSによる脊椎麻酔との作用の発現時間の違いが示された。

各種吸入麻酔薬と血圧・心拍数の変化の関係

血圧, 心拍数は麻酔管理の上で最も重要かつ基本的な指標である。そこで吸入麻酔 GOE, 5例, GOF, 3例, セボフルレン (GOS), 9例, GOI, 10例における, 導入前値に対する術中の血圧, 心拍数の変化率と各 STI 値変化率との関係を検討した (Table 2)。

GOE 群での血圧, 心拍数と STI 値との関係を見ると, %SAP と %PEP, %SAP と %P/E, %HR と %PEP, %HR と %LVET が有意な負の相関を示した。エンフルレンによる低血圧, 徐脈時には心ポンプ機能の低下を示唆する可能性がある。

GOF 群では GOE 群と比べると %SAP, %HR

Table 2 Correlation between % changes in SAP and HR and % changes in STI variables determined by EDG

	GOE (n=34)	GOF (n=55)	GOS (n=48)	GOI (n=116)
%SAP vs %PEP	r = -0.471**	r = -0.902§	r = -0.410**	NS
%LVET	NS	r = -0.699§	r = +0.424**	r = -0.282**
%P/E	r = -0.509**	r = -0.575§	r = -0.500**	NS
%HR vs %PEP	r = -0.427*	r = -0.860§	r = -0.472**	r = -0.642§
%LVET	r = -0.842**	r = -0.871§	NS	r = -0.779§
%P/E	NS	r = -0.389**	NS	r = -0.425§

n : number of measured points  
 \* : p < 0.02 \*\* : p < 0.01 § : p < 0.001  
 r : correlation coefficient NS : not significant

と各 STI 値との変化率が高い負の相関を示し、ハロセン麻酔において低血圧、徐脈時には心ポンプ機能の抑制が生じていると考えられる。

GOS 群では %SAP と STI 値の変化率が良好な相関を示し、低血圧時には P/E から見た心ポンプ機能は低下している。しかしながら、特徴的なことは、血圧の変化に対する LVET の変化の方向が正の相関を示す点が他の麻酔薬と異なる。即ち、セボフルレン麻酔の際には術中管理の一つの指標として血圧がより有用と考えられる成績である。

GOI 群では GOS 群と対称的に %HR と STI 値の変化率が高い負の相関を示し、イソフルレン麻酔でよく経験する頻脈時には心ポンプ機能は亢進していることが推察される。

血漿増量剤による STI の変動

術中に一定以上の出血を認めた場合、血漿増量剤がしばしば用いられる。そこで本剤投与による前負荷増大は当然の帰結であり、STI の変動を解釈する上で格好なモデルと考え、以下の検討を行なった。10 ml/kg の出血量が予想される単純子宮全摘出術の28症例において約30分間に 500 ml の各種血漿増量剤を投与し、EDG による STI 値の変化を検討した。血漿増量剤として2種類の hydroxyethyl starch (ヘスパンダー®, サリンヘス®) および低分子デキストラン (サビオゾール®) を用い生理食塩水との比較を行った。その結果、血漿増量剤の有効性および作用持続時間や血漿増量剤の種類による違いもみることができた。即ち、Fig. 4 に示すように血漿増量剤のうちヘスパンダー®, サビオゾール®の投与中に PEP は短縮したが、30分後にはその効果は消失した。ところがサリンヘス®では投与90分後にも PEP は投与前値より短縮しており、血漿増量効果は依然、保たれている。次に LVET は生理食塩水を除いて血漿増量剤投与中に有意に増加している。P/E も生理食塩水を除いて血漿増量剤投与中に低下し、心ポンプ機能の改善がみられる。しかし、サリンヘス®は投与60、90分後でも有意な低下を示し、他と比較して作用時間の長さを示している。即ち、各種血漿増量剤の使用が予想される場合、術前の心ポンプ機能を十分に検討し、各薬剤の持つ特徴を生かすべきであり、加えて術中の心ポンプ機能

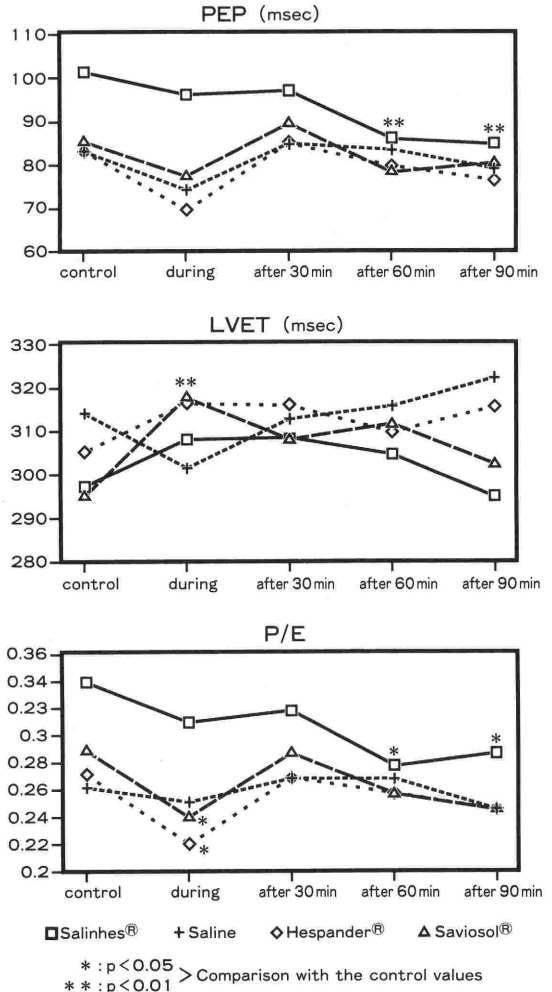


Fig. 4 Changes in STI variables by administrations of plasma expanders.

の変動に注意を払うべきである。

EDG の有用性と制限について

実例に示すように、術中の各処置、出血などによる血圧の上昇や下降はそれぞれに STI 値の変化とよく相関し、通常我々が術中の指標とする血圧、心拍数の動きによく追従していた。また血漿増量剤投与による前負荷の増加に対しても STI 値は鋭敏に反応した。血圧、心拍数の変化に対する各 STI 値の変化の関係も吸入麻酔薬の種類により特色がみられた。即ち、術中の循環動態の変化や使用麻酔薬の相違を踏まえて、血圧あるいは心拍数の変動に対する STI 値の変化を分析することにより、より詳細に動的な血行動態を把握することが可能である。

しかしながら、多くの有用性を持つ本法であるが、STI それ自体が前負荷、後負荷、心収縮力、心拍数など多くの因子に影響を受けやすいので、STI のみによる心機能の判定にはさまざまな批判がある<sup>18~20)</sup>。一方、治療に伴う心機能の変化、麻酔中の心機能の経時的变化など<sup>21~23)</sup>、同一人の経過を追っての心機能の観察には観血的方法の煩雑さや侵襲に伴う危険性、苦痛と比較すると現在の方法でも臨床的に有用であると考えられている。また STI を測定できる EDG は簡単な装置を耳介に装着するだけでさまざまな状況下の STI からみた心ポンプ機能を連続的に観察することができるので、将来を待たずして高齢者手術が増加し、また循環動態モニタが麻酔科領域で広く求められると予想される現在、Swan-Ganz カテーテルを挿入するほどではなくても、心機能を監視することが望ましい症例には有用な方法であると言える。また、他のモニタとの併用により、これまで述べた STI の欠点を補えば日常使用可能なモニタとなりうる。

最後に我々の EDG、Swan-Ganz カテーテル法、心エコー図法を用いた麻酔科領域における術中の循環動態モニタの経験を通して EDG の利点、欠点をまとめる。

EDG の利点として以下のことがあげられる。

①長時間の記録が可能なこと。即ち、市販の録音用45分テープで8時間、120分テープで24時間の記録が可能である。②記録テープからのデータの

解析がいずれの時点でも、何回でも可能なこと。

③心ポンプ機能に関する非観血的心機能モニタであるということ。④従来の STI 測定装置と比べて、体動、体位による影響が少ないこと。このことは、全身麻酔下でないといにくい食道エコー図と違い、局所麻酔、脊椎麻酔、硬膜外麻酔、さらには麻酔中以外にも ICU、病棟でも使用することができる。これは、③の利点と併せて高齢者や侵襲的検査を避けるべき症例にとって有用と考えられる。⑤PCG を省略しているため、記録装置としては小型であるし、本来のホルタ心電図と同様携帯することができる。

次に EDG の欠点としては以下のことが考えられる。①従来の STI の解釈と同様、前負荷、後負荷、心収縮力、心拍数など、さまざまな因子に影響を受けやすく、結果の評価がむずかしく、慎重な判断を要する。②低血圧、末梢循環不全では波形の記録及び分析が困難である。③波形の分析に特殊な装置が必要でリアルタイムのモニタとしては、現時点では使用しにくい。④波形が必ずしも一定でなく分析に難渋することがまれにある。利点のところで体動による影響が少ないと述べているが、手術中の電気メスなどによる影響が ECG 波形に、やはり見られ、EDG 波形に関しても、プローブのはずれや外部からの影響で乱れることがある (Fig. 5)。現在のところ末梢循環不全による波形の平坦化や波形のゆれによる分析不能例は約10%程度である。今後の課題として、安定した

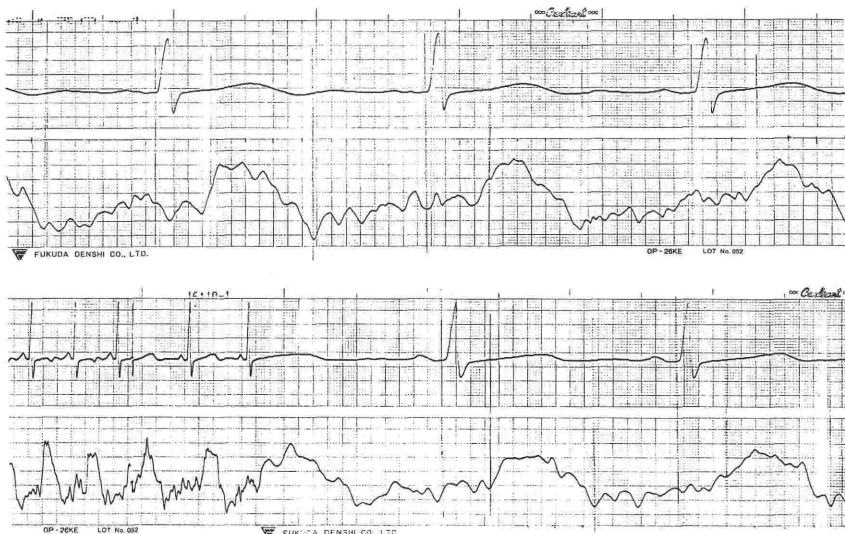


Fig. 5 A typical case which analysis was difficult due to unstable EDG waveforms.

波形を得ること、コンピュータを利用したリアルタイムのモニタ化などが実現できれば、より利用価値のあるモニタとなりうると考えられる。さらに、今後の展望として小児や妊婦への応用、種々の薬剤の影響の検索など多くの症例に利用できるものと思われる。

### おわりに

光電容積脈波計とホルタ心電図からなる Ear densitography (EDG) を用いることにより、麻酔中の各処置、各種麻酔方法、出血に対する血漿増量剤の投与による心ポンプ機能に及ぼす影響を EDG で測定した STI 値より評価した。STI から見た心ポンプ機能の抑制の程度から各麻酔法の特色が、また硬膜外麻酔、脊椎麻酔では作用の発現と心ポンプ機能の抑制との一致も認められた。血漿増量剤の種類による心ポンプ機能の変動幅、持続時間の違いも把握することができた。モニタとしての STI の利用にはこれまでも問題点があげられているが、EDG は従来の STI 測定装置と比べると、小型、体動による影響が少ないなど利点も多く、本方法は侵襲的方法を避けたいが、心ポンプ機能をなんらかの方法で見る必要がある場合に有用と考えられる。

本論文の要旨は第12回日本循環制御医学会総会にて発表した。

### 参考文献

- 1) Kasuda, H., Akazawa, S., Shimizu, R.: The echocardiographic assessment of left ventricular performance during sevoflurane and halothane anesthesia. *J Anesth* 4:295~302, 1990.
- 2) 米村栄茲, 福島和昭: 非観血的心機能の評価法. *臨床麻酔* 9: 1297~1306.
- 3) 剣物 修: Non-invasive circulatory monitoring の問題点. *循環制御* 1: 8~23, 1980.
- 4) 後藤康之: 麻酔科領域における心機能測定法. *麻酔* 27: 785~791, 1978.
- 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) Haffty, B. G., Kotilainen, P. W., Kobayashi, K.: Development of ambulatory systolic time interval monitoring system. *J Clin Eng* 2:199~210, 1977.
- 7) 松谷正秀, 杉浦哲朗, 岩坂壽二他: 心筋梗塞症例の日常生活動作における心行動態変化: 24時間連続イヤー・デンストグラフィー記録による左室収縮時
- 間を用いて. *J. Cardiol* 18:55~65, 1988.
- 8) Sugiura, T., Doi, T. L., Haffty, B. G., et al.: Effect of oral propranolol on left ventricular performance in patients with ischemic heart disease. Ear densitographic study during uninterrupted treadmill exercise. *Chest* 82:576~580, 1982.
- 9) 藤瀬久美子, 松本早苗, 今西敏博: Ear densitography による術中の非観血的心機能測定法. *循環制御* 9: 123~130, 1988.
- 10) 藤瀬久美子, 松本早苗, 内田盛夫: 血漿増量剤の循環動態におよぼす影響—Ear Densitography の麻酔科的応用—. *循環制御* 10: 255~262, 1989.
- 11) 藤瀬久美子: Ear densitography, 奥秋 晟, 池田和之, 豊岡秀訓編: 麻酔—集中治療とモニタリング. 克誠堂, 東京, 291~295, 1989.
- 12) Spodick, D. H., Lance, V. Q.: Noninvasive stress testing. Methodology for elimination of the phonocardiogram. *Circulation* 53:673~676, 1976.
- 13) Nandi, P. S., Spodick, D. H.: Recovery from exercise at varying work loads. Time course of responses of heart rate and systolic intervals. *Brit Heart J* 39:958~966, 1977.
- 14) Walsh, R. A., Crawford, M. H., O'Rourke, R. A.: Relative sensitivity of echocardiography and systolic time intervals for assessing acute positive inotropic interventions in normal human subjects. *Am Heart J* 104:1061~1070, 1982.
- 15) Garrard, C. L., 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) 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.
- 17) Qarry-Pigott, V., Chirife, R., Spodick, D. H.: Ejection time by ear densitogram and its derivative. Clinical and physiologic applications. *Circulation* 48:239~246, 1973.
- 18) Lewis, R. P., Rittgers, S. E., Forester, W. F., et al.: A critical review of the systolic time intervals. *Circulation* 56:146~158, 1977.
- 19) Weissler, A. M., Harris, W. S., Schoenfeld, C. D.: Systolic time intervals in heart failure in man. *Circulation* 37:149~159, 1968.
- 20) 熊沢光生, 野呂忠慈: STI の麻酔前検査, 術中モニターの意義について. *臨床麻酔* 4: 1100~1101, 1980.
- 21) Dauchot, P. J., Rasmussen, J. P., Nicholson, D. H., et al.: On-line systolic time intervals during anesthesia in patients with and without heart disease. *Anesthesiology* 44:472~480, 1976.
- 22) 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.
- 23) Rasmussen, J. P., Sørensen, B.: Cardiac function during halothane and fluroxene anesthesia expressed by systolic time intervals. *Acta anaesth scand* 19:104~112, 1975.