Non-invasive circulatory monitoringの問題点

劔物 修*

緒言

非観血的に頸動脈波，心電図，心音図を同時に記録することで得られる心収縮時相 systolic time intervals: STI は心臓病学の分野で non-invasive な，心機能を知る一手段として確立されたものである[1~4]．本法の有用性については多くの報告があり，① STI の測定が正確な情報を提供するのか？，② 左室機能を知る他の方法との相関性？，について種々の検討が行われてきている．本法の最大の利点は非侵襲的であるために，頻回の測定が可能であり，心疾患の経過や治療に対する反応を長時間にわたり観察できることにある[1)]．心臓病学の領域では，心筋梗塞や冠動脈疾患時の左室機能の変化はもとより，種々の薬物療法に対する効果を知るうえに応用されてきている[5~9)]．

麻酔科領域における STI 測定の応用も種々試みられている[10~21)]．前駆出時期 pre-ejection period: PEP，左室駆出時間 left ventricular ejection time: LVET に及ぼす麻酔薬や麻酔方法の影響が検討され，有意の変化として把握できないとする報告や量依存性の変化を認めるとする成績がある．PEP，LVET も心拍出量の場合と同様に，前負荷（静脈還流），後負荷（動脈圧）や心拍数の影響を受けることが指摘されている[21,22)]．心拍数が110/分以下であれば，PEP/LVET 比は心拍数の影響を除外できるとし，この比が左室機能を知る指標として有用と考えられている[1)]．最近では STI から求められる拡張期時間 diastolic time: DT が心筋の血流状態を知るうえに有効とする興味ある報告がなされている[23)]．

臨床薬理学的な見地から，麻酔薬や麻酔中に使用される種々の薬物の左室機能に対する経時的効果を観察する方法として，また麻酔中の循環モニタリングの一手段として，STI の測定は期待される．この観点から，① non-invasive circulatory monitoring としての STI の有用性，② 観血的方法との比較，③ 臨床応用上の問題点などについて，著者のこれまでの成績を中心に検討を加え，さらに最近の文献的考察を行いながら記述したい．

I. 麻酔中の心循環系モニタリング

手術中とりわけ麻酔中の心循環系の状態を知ろうとする試みは早くから行われており，大きくわけて，① 心のポンプ機能と，② 心筋の収縮と，から把握しようとされてきた．従来からの間接的方法による動脈圧の経持的測定と心拍数の監視は，いまでも麻酔中の循環管理の基本になっている．

しかしながら，これだけでは不十分な場合も多く，表1にみるような，血管や心臓内にカテーテルを挿入しての圧や収縮速度の変化をとらえようとする[3)]，いわゆる invasive な方法により心機能を知ろうとする努力が，手術中にも実施されるようになってきている．このうち，心拍出量の測定は，近年 Swan-Ganz カテーテル[24)]の普及に伴い，急速に一般化され，肺動脈圧，肺動脈楔入圧の測定とともに，非常に有用な情報を手術を担当する外科医にとってだけでなく，手術中の患者管理を担う麻酔科医に提供してくれるので，より

* 北里大学医学部麻酔科

Presented by Medical*Online

表 1. 心機能の種々のパラメーター

I. 心のポンプ機能を中心としたもの
　収縮期（とくに駆血期）
　　a）CO, SV 等
　　b）心室機能曲線（Frank-Starling メカニズム）
　　c）EF＝SV/EDV
　　d）左心収縮時相
　　e）平均駆血率（MSER）
　　f）左室内圧—容量関係
　　g）心の仕事量
　　h）壁張力，応力
　　i）心室収縮の synergy
　　j）運動にたいする心反応の指標
　拡張期
　　a）心室内容量とくに EDV
　　b）EDP
　　c）Compliance
II. 心筋収縮性にたいするアプローチ
　等容性収縮期
　　a）dp/dt より：max dp/dt, t-max dp/dt/IP(IT), max dp/dt/EDV(EDP), max dp/dt/IIP, dp/dt/CPIP 等
　　b）収縮要素短縮速度 V_{CE} より：V max, V_{CE} maxP, $V_{CE_{50}}$, VCE EDP 等
　駆血期
　　a）心室自由壁表層の心筋短縮速度
　　b）左室内周平均短縮速度（MCSR）
　　c）最大壁張力発生時の V_{CE}
　　d）大動脈起始部における血流速度

的確な患者管理が可能となったといえる．しかしながら，invasive であるがために，頸動脈穿刺，気胸・血胸，血栓，空気栓塞，肺血管損傷，カテーテルの結び，不整脈，感染などの合併症をまぬがれない[25]．したがって，もし可能であれば non-invasive な方法が期待されるわけである．

Circulatory monitoring，とくに手術室でのモニタリングの必要条件としては，表 2 にあげるものが考えられる．Non-invasive な方法として，現時点で使用できるものをこの観点から検討する必要があろう．

表 2. 手術室におけるモニタリングの必要条件

1）心機能の測定
2）患者に痛み，不快感を与えない
3）測定準備が容易
4）校正が簡単，迅速
5）電気メスの使用で障害されない
6）再現性がある
7）安定性が良い
8）外科的操作で障害されない
9）データの読みが簡単で，有用な情報を提供する
10）誤った情報の提供が少ない

II. Non-invasive モニタリングの種類

1. 超音波心動態図 Ultrasound cardiogram；UCG

超音波パルスを用い，心腔，弁などの動態から心機能を知ろうとするものである（図 1）．心疾患の診断，術前の患者の評価，術後の経過などを観察するうえには有用であるが，装置は複雑であり，手術室での使用は困難と思われる[26]．

2. インピーダンス法 Impedance cardiogram；ICG

図 2 にみるように 4 本の電極が必要であり，電極に触れることで artifact の発生することが多く，データの再現性にも問題はある．電極の占める位置が手術野である場合も少なくなく，手術室での循環モニタリングとしての意義は少ない[27]．

3. 超音波ドプラ法 Doppler flow meter

末梢の血流速度から大動脈の血流速度（dQ/dt）を推測しようとするものである．末梢の血流は種

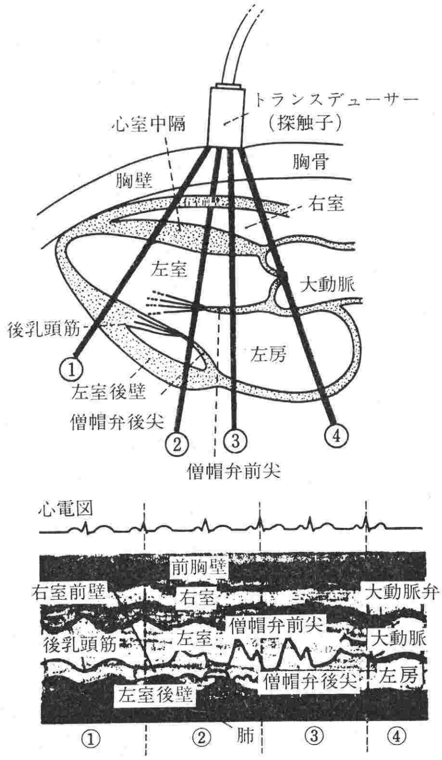

図 1. 超音波心動態図

Presented by Medical*Online

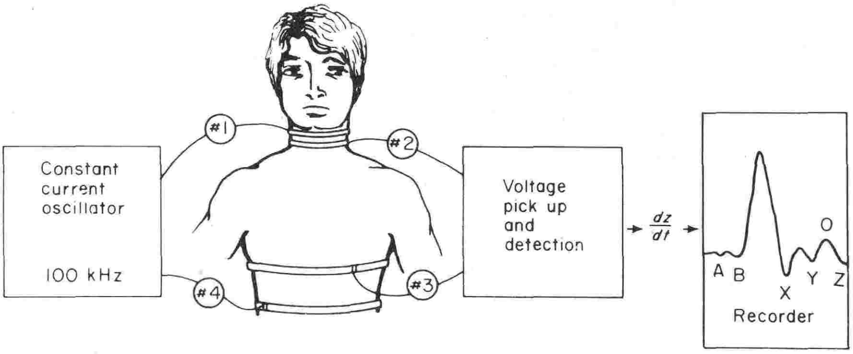

図 2. インピーダンスカルジオグラム

々の因子の影響を受け，必ずしも (dQ/dt) を反映するとは限らず，現時点ではその臨床価値は乏しい．もちろん，年少児の血圧測定，坐位手術時にみられる空気栓塞の診断手段としてはきわめて有用なものである．しかしながら，ドプラのプローブを食道内に挿入して大動脈に近接する部位での血流速度を測定することができれば，dQ/dt を良く反映すると考えられ，今後検討されるべきものといえよう[27]．

4.　**心収縮時相** Systolic time intervals ; STI

これはあくまでも収縮時相の分析であり，時間を測定するもので，収縮力や速度をとらえようとするものではなく，心音，頸動脈波，心電図を同時に記録することで，前駆血(出)期(時間) pre-ejection period ; PEP，左室駆血(出)時間 left ventricular ejection time ; LVET を測定するものである．

III.　心 収 縮 時 相

心収縮時相は，① 変容期 (QS_1 時間)，② 等容性心収縮時間，isovolumic contraction time (ICT)，③ 前駆血期 (PEP)，④ 左室駆血時間 (LVET)，の4つに分けられる．

1.　**心収縮時相の計測法**[1,3,26]

1)　**QS_2 時間** electromechanical systole 心電図のQ棘の初めから，II音の大動脈成分（通常，同時記録した頸動脈波の切痕よりも 20–30 msec 前に位置する）の開始までの時間を計測する．

2)　**LVET**　頸動脈波の急峻な立ち上り点から切痕 (notch) までの時間を計測する．

3)　**QS_1**　心電図のQ棘の初めからI音の僧帽弁成分の開始までの時間を測定する．

4)　**PEP**　QS_2 時間から LVET を減じて求める．

$$PEP = QS_2 - LVET$$

5)　**ICT**　PEP から QS_1 を減じて求める．

$$ICT = PEP - QS_1$$

一般に応用されている PEP, LVET を求めるためには上記の，1)，2)，4) を計測すれば良いことになる（図3参照）．

2.　**各心収縮時相の血行力学的意義**[26]

1)　**QS_1**　心室の電気的興奮の開始時点から左室内圧が徐々に上昇し，僧帽弁が閉鎖するまでの時間である．心室は収縮期の初めには内圧を大きく変化させずに，球形に近く変形して心室内圧の上昇を効率よく行うための準備をする時相である．

2)　**ICT**　僧帽弁が閉鎖し，大動脈弁も閉鎖状態にあるときに，心室の収縮が生じて心室内圧は急速に亢進する．このとき左室内の血液量は不変（等容性）であるので，この時相を等容性心収縮期 isovolumic contraction time という．

3)　**PEP**　心室の電気的興奮の開始から ICT の終了時点，つまり，心室駆血の開始時点までを前駆血期という．$PEP = QS_1 + ICT$ ということになる．

4)　**LVET**　ICT において左室内圧が大動脈圧を超えると，大動脈弁は開放して駆血が生じる．駆血に要する時間であり，大動脈弁の開放から閉鎖までの時間に相当する．

3.　**心収縮時相の平均値** (msec)

Presented by Medical*Online

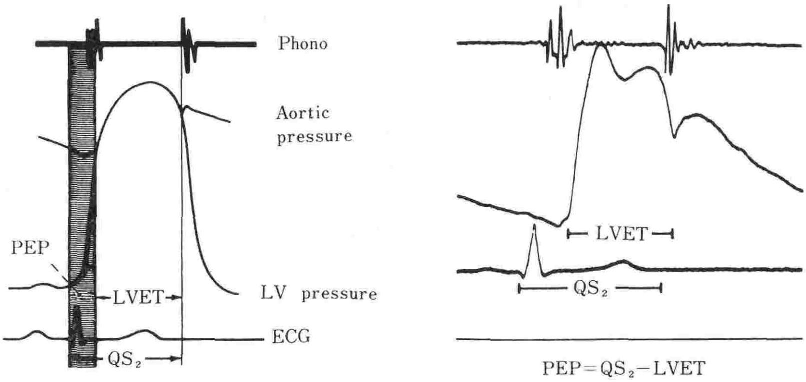

図 3. 心収縮時相の計測法（説明本文参照）
右：上段から心音図，頸動脈波，心電図

本邦の健康人150例で得られた平均値±標準偏差は $QS_1=59\pm10$，ICT＝38±13，PEP＝96±10，LVET＝285±25，$QS_2=385\pm28$ とされている[26]．これらは心拍数により変化するためにそれぞれに index を付けて表現されており，Weissler ら[6]によれば LVETI＝1.7 HR＋LVET（男性），1.6 HR＋LVET（女性），といわれている．本邦においては LVETI＝1.5 HR＋LVET と表現され，平均値は 386±25 である[3]．QS_2，ICT，PEP は LVET に比較して，心拍依存性は少ないといわれている．

4. STI から得られる PEP，LVET と invasive な方法による情報との相関性

Millar の mikro-tip を用い大動脈根部で直接測定した LVET と air-coupled の Statham P 23 Db ストレインゲージで測定した外頸動脈波の LVET はきわめて良く相関する[1]ことや，大動脈血流速度の最高値（max dQ/dt）と $1/PEP^2$ が相関する[28]ことなどが報告されている．これまでの報告[5,7,28~30]をまとめてみると表3のようになる．

表 3. STI と invasive な方法との相関

PEP	vs	SI	－0.82	Weissler	1969
		max dp/dt	－0.70	Talley	1971
		EF	－0.72	Garrad	1970
$1/PEP^2$		max dQ/dt	－0.96	Reitan	1972
LVET	vs	LVET(inv.)	＋0.99	Martin	1971
PEP/LVET	vs	EF	－0.90	Garrad	1970
		SI	－0.82	Weissler	1969
		SI	－0.72	Murooka	1973

これから理解できるように PEP/LVET 比は駆出分画 ejection fraction；EF(SV/EDV) ないし1回拍出量係数，stroke index；SI と良く相関している．PEP/LVET 比は心拍数が 110/分以下であれば，心拍数の因子を除外できることもあり，良い指標であるといえる．著者らも，これまでの自験例からこの比が，麻酔薬や麻酔法の影響を評価するうえに有用との結論を得てきている[14~20]．

5. STI 測定の実際とその価値

著者らがこれまでに得てきた成績を紹介しながら，① 手術室における STI 測定の妥当性，② 麻酔科医にとっての有用性，③ 術中の心循環系モニタリングとしての価値などについて考察を加えたい．

表4上段は diazepam, halothane, halothane/N_2O の影響を全身麻酔による手術予定患者平均年令27才の51名を対象に検討したものである[16]．Diazepam 0.2 mg/kg の静注の5分後では，LVET の短縮，PEP/LVET 比の増加，平均動脈圧（MAP）の低下がみられるが，いずれも軽度のものである．Thiamylal, SCC 投与後に気管内挿管を施行し，酸素 6l/分に halothane 1％投与の30分後では，PEP の延長（47％），PEP/LVET 比の増加（38％），$1/PEP^2$ の減少（52％）が認められる．MAP は7％の低下，心拍数（HR）は13％の減少である．その後 N_2O 66％を加えてから15分後には PEP，PEP/LVET 比，$1/PEP^2$ はそれぞれ表のように変化するが，推計学的に有意ではない．このことから，halothane は PEP の

Presented by Medical*Online

表 4. Diazepam, halathane, halothane/N_2O (上段) と enflurane, enflurane/N_2O (下段) の心機能に及ぼす影響

	PEP (msec)	LVET (msec)	PEP/LVET	1/PEP²x10⁻⁶	MAP (mmHg)	HR (beats/min)
Control	98.8±1.9	289.3±3.7	0.344±0.008	105.1±4.4	83.7±1.5	74.3±1.9
Diazepam	100.1±2.0	281.5±4.0	0.360±0.011	105.0±4.8	80.3±2.3	79.0±2.0
Halothane	144.6±2.0*	297.9±3.8*	0.491±0.012	48.9±1.7*	74.9±2.1*	68.3±1.6*
Halotane-N_2O	148.6±3.1	299.3±4.0	0.501±0.014	47.4±2.0	73.0±2.0**	67.5±1.5

* Significant difference ($p<0.001$) compared with diazepam value (mean ± SE)
**Significant difference ($p<0.05$) compared with halothane value

	PEP (msec)	LVET (msec)	PEP/LVET	1/PEP²x10⁻⁶	MAP (mmHg)	HR (beats/min)
Control	98.9±2.2	287.3±4.9	0.348±0.010	109.3±6.1	85.7±1.9	79.8±2.5
Diazepam	99.6±1.8	278.2±4.8	0.363±0.010	104.2±3.6	83.0±2.1	82.5±2.4
Enflurane	142.1±3.2*	287.8±3.5*	0.498±0.015*	52.7±2.7*	70.3±1.7*	73.3±1.8*
Enflurane-N_2O	146.1±2.8***	287.4±2.8	0.512±0.013	48.8±2.1***	67.7±1.7**	75.1±1.5***

* Significant difference ($p<0.001$) compared with diazepam value (mean ± SE)
** Significant difference ($p<0.01$) compared with enflurane value
***Significant difference ($p<0.05$) compared with enflurane value

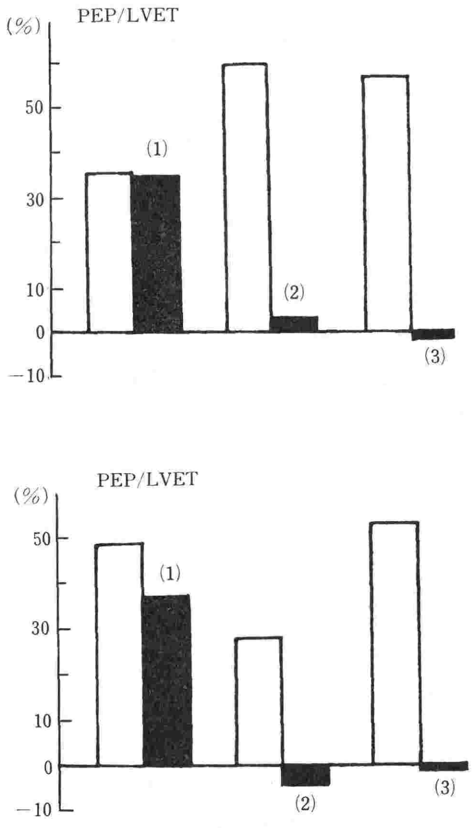

図 4. Halothane/N_2O (上段)と enflurane/N_2O (下段) の PEP/LVET 比に及ぼす影響と, ① ephedrine10 mg, ② isoprotenol 2 μg, ③ Carnigen® 1 ml の効果

延長と PEP/LVET 比の増加, 1/PEP² の減少をもたらし, ともに心機能を抑制することを示唆している. 笑気を加えることによる交感神経刺激効果は認められていない. 表4下段は enflurane 2%についてみたものであるが, halothane 1%の場合と同程度の変化を示している. MAP の低下は halothane の場合より著明である.

図4は halothane/N_2O(上段)ないし enflurane/N_2O (下段) 麻酔による PEP/LVET 比の増加(心機能の低下)に対して, ① ephedrine 10 mg, ② isoproterenol 2 μg, ③ Carnigen® 1 ml を投与したときの変化を比較したものである. Ephedrine では変化はなく, isoproterenol と Carnigen® は増加した PEP/LVET 比を減少させて対照値に戻す効果(心機能の回復)が認められる. Halothane/N_2O や enflurane/N_2O により抑制された心機能に対して, isoproterenol や Carnigen® は有効であることを示唆している[17].

図5は halothane/N_2O 麻酔により増加した PEP/LVET 比と減少した 1/PEP² に対する Carnigen® 1 ml と Effortil® 1 mg の効果を比較したものである. この場合も血圧はほぼ同程度の回復をみているが、Carnigen® ではスミの部分にみるように Effortil® (斜線の部分) に比較して, PEP/LVET 比と 1/PEP² の回復の程度は大きい

Presented by Medical*Online

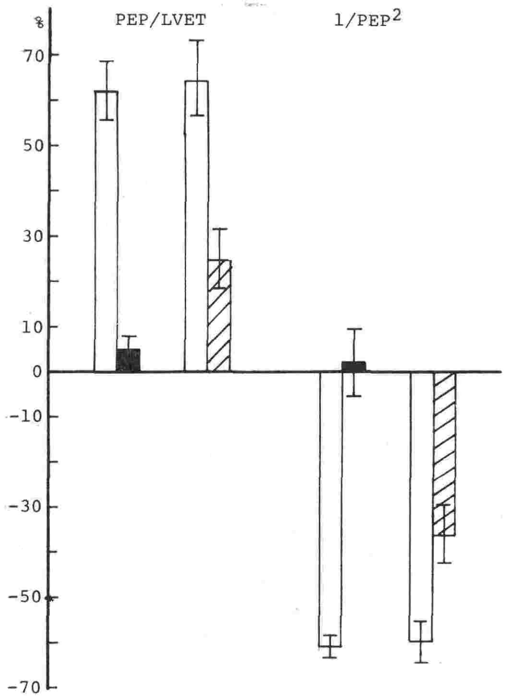

図 5. halathane/N_2O による PEP/LVET, 1/PEP² の変化に対する Caminzen® (スミの部分) と Effortil® (斜線の部分)の効果

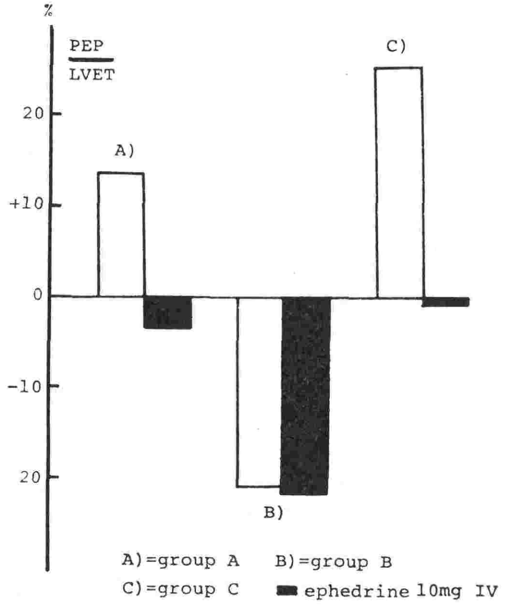

図 6. 硬麻 lidocaine のみ (group A), 硬麻 epinephrine 添加 (group B), 脊麻 (group C) による PEP/LVET の変化と ephedrine の影響 (スミの部分)

ことが理解される．両薬物の 1 m*l* と 1 mg は等力価とはいえないが，この量で比較する限り，Carnigen® の方が正の変力効果は強いことを意味している．いいかえれば，Carnigen® 1 m*l* の方が Effortil® 1 mg よりも交感神経 β-刺激作用が強いといえる[18]．

硬膜外麻酔（硬麻）や脊髄麻酔（脊麻）において血圧低下が生じた場合の PEP/LVET 比などの変化を検討すると，年令による変化は無視できないが，硬麻で lidocaine 単独の場合（group A）と脊麻（group C）では PEP/LVET 比は増加し，硬麻で lidocaine に 1/20万の 1 epinephrine を添加した群 (group B)ではこの比は減少する．いずれの場合にも血圧の低下は認められているのに，group B で PEP/LVET 比が減少しているのは添加された epinephrine の交感神経 β-刺激作用に由来するものと解釈される．ここで ephedrine 10 mg を静注すると図 6 にみるように group A と group C では PEP/LVET 比は対照値に復するが，group B では変化が認められない．もちろん ephedrine 10 mg により血圧はともに対照値に回復している[15]．このことは，硬麻や脊麻においても PEP/LVET 比は増加し，その場合には ephedrine の静注は有効であり，交感神経 α-刺激作用と同時に β-刺激作用も関与していることが推測される．

近年，低血圧麻酔の外科手術における応用は盛んであり，その理由のひとつには trimethaphan や nitroprusside の薬理作用が解明されてきていることがあげられる．この trimethaphan, nitroprusside の血圧，心拍数，PEP/LVET 比，1/PEP² について検討したもの[20]が図 7 であるが，halothane/N_2O 麻酔のもとで，両薬物の点滴静注により，同程度の血圧低下を得た場合（図 7 上段）でも，PEP/LVET 比や 1/PEP² では両薬物の異なった効果がみられている（図 7 下段）．Trimethaphan(∘——∘) により収縮期血圧 (SBP) を 100 mmHg から 80 mmHg に低下させても，PEP/LVET 比，1/PEP² はともに無変化であるのに反して，nitroprusside (•——•) の場合には，PEP/LVET 比は有意の減少，1/PEP² は有意の増加がみられている．このことは，halothane/

Presented by Medical*Online

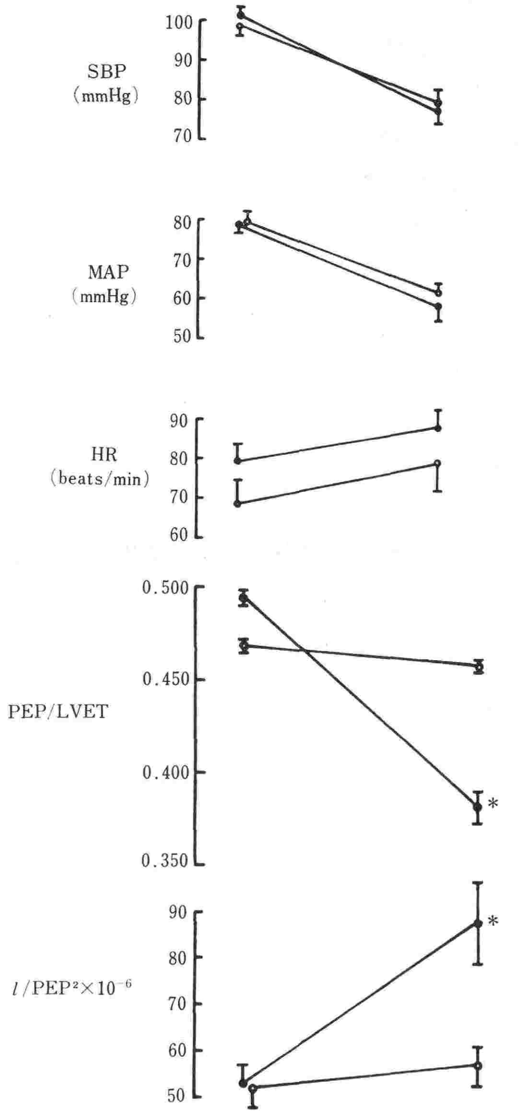

図 7. GOF における trimethaphan(○——○) と nitroprusside (○——○) の心機能に及ぼす効果

表 5. 手術室における STI 測定の妥当性

1) PEP, LVET は心機能の抑制, 改善を反映する
2) 測定の準備時間は短くてすむ
3) 電気的安全性は確かめられている
4) 手術操作との適合性: 食道内トランスジューサー
5) STI の自動化: コンピューターの使用
6) 前負荷, 後負荷, 収縮性の変化を反映する

N_2O 麻酔で抑制された心機能は nitroprusside の投与で改善されていると解釈される. しかしながら, 摘出心筋に対する nitroprusside は正の変力効果を持たないわけで, この心機能の改善は心筋収縮性の亢進に由来するとはいえない[20]. 心不全による低心拍出量状態での nitroprusside の投与は心拍出量を増加させ, これはこの薬物の血管拡張作用に基づく後負荷の減少によると考えられている[31,32]. 後負荷の減少は trimethaphan 使用により, 同程度に期待されるにもかかわらず, この場合には PEP/LVET の改善はみられていない. Nitroprusside の場合には後負荷の減少は左室充満圧の下降 (前負荷の減少) をもたらして, 心筋梗塞や心不全の患者で心機能を改善する[33]. Halothane によって生じる左室充満圧の上昇が, この薬物により下降して, 心機能の改善を結果すると推測される. この薬物は冠血流量の増加と冠静脈洞の酸素含量の増加をもたらすわけで, 心筋の灌流と酸素化を促進することになり, 心機能の改善に貢献するものと考えられる[34].

以上の考察から, 麻酔薬や麻酔方法の影響を知るうえに STI の測定, とりわけ PEP/LVET 比の測定は, きわめて有用であると結論される. 手術室での STI の測定は, これまでの経験から, 測定の準備時間はそれほど長くはないし, 電気的安全性 (ミクロショックなど) も問題はないといえるわけで, 十分施行可能である. 頸動脈にトランスジューサーを, 胸部に心音マイクを装着することは, 顔面や頸部の手術の場合や, 開胸手術, 側臥位や仰臥位での手術に無理なことが多い. この場合には食道内に動脈波形と心音を導出するトランスジューサーを挿入することが, この問題を解決することになる[35]. この点に関しては, 今後の検討が必要となる. さらに, PEP, LVET, PEP/LVET の計測は, 慣れた者が行っても, ひとつの値を出すのに5～10分は必要であるために, STI の自動化, すなわちコンピューターの使用が必要となる. このような条件が備われば, 表5に示すように, 術中の心循環系のモニタリングとして使用可能となり得るものと考えられる.

6. STI の自動化

米国においては早くから STI の自動化が進められ, これを用いての報告[13]も散見されているが, 本邦での報告はいまだない. 最近, AVL myocard check 970 という装置を使用する機会

Presented by Medical*Online

を得たので，この装置の紹介と麻酔中の患者に使用した実際例について検討する．

1）AVL 装置[36]について（図8）

心電図，心音図，頸動脈波から得られたアナログシグナルは内臓のマイクロプロセッサーで計算される．3つの波形は23 cm のブラウン管上に 100 mm/sec の速度で描出され，同時に心拍数，QS_2，PEP，LVET，PEP/LVET，S_2Q（DT）がブラウン管の下部に表示される．内臓のプリンターにより，すべての値が数値でプリントアウトされる．心電図，心音図，頸動脈のシグナルが正しくない場合には artifact と表示され，計算はされずに，すべてのプロセスは休止する．測定には single mode と periodic mode の2方法があり，前者では12心拍中の最高値と最低値を除いて残りの10心拍の平均値が表示され，プリントアウトされる．後者の periodic mode の場合には single mode の値を4心拍ずつずらして連続的にモニタリングする．このようにしてコンピューターにより自動的に得られた値と3つの波形からヒトにより計算された値はきわめて良く相関する[37]（図9）．

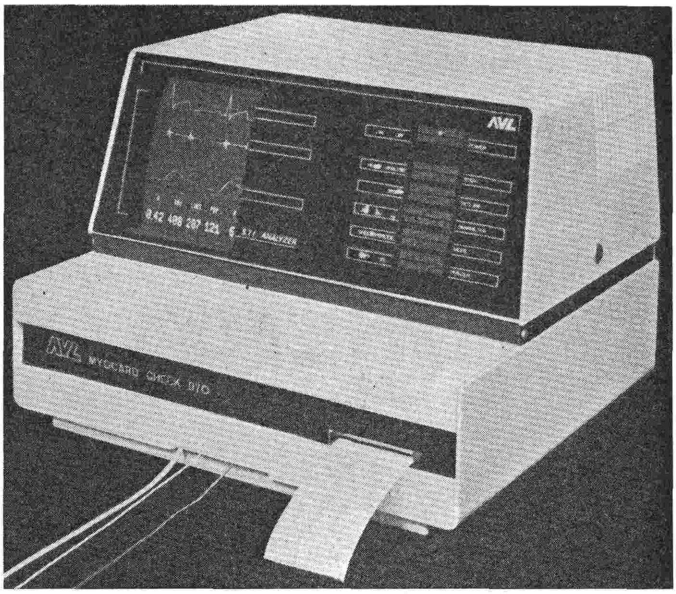

図 8.　AVL 装置

2）AVL を使用しての実際例　27才の男性（ASA-1）の胃切除術に対する全身麻酔中の連続的記録から，任意に取り出したものを表6に示した．麻酔開始前では HR 70，PEP 100，LVET 293，PEP/LVET 0.34 である．麻酔薬の影響などを PEP/LVET についてみると，thiopental 300 mg 静注により 0.42，SCC 60 mg 投与で 0.51 にそれぞれ増加している．GOF 開始後10分で

REGESSION Y=A+BX		
A	=	1.010
B	=	0.961
RES ERROR	=	44.566
IRES MAX 1	=	22.931
STATISTICS FOR Xi-Yi		
N	=	50
MEAN	=	3.220
SD	=	0.627
SEM	=	0.937
t-TEST		
t	=	3.436
WITH 49 DEG. OF FREED		
SIGN. LEV.	=	0.096%
CORRELATION		
r	=	0.887

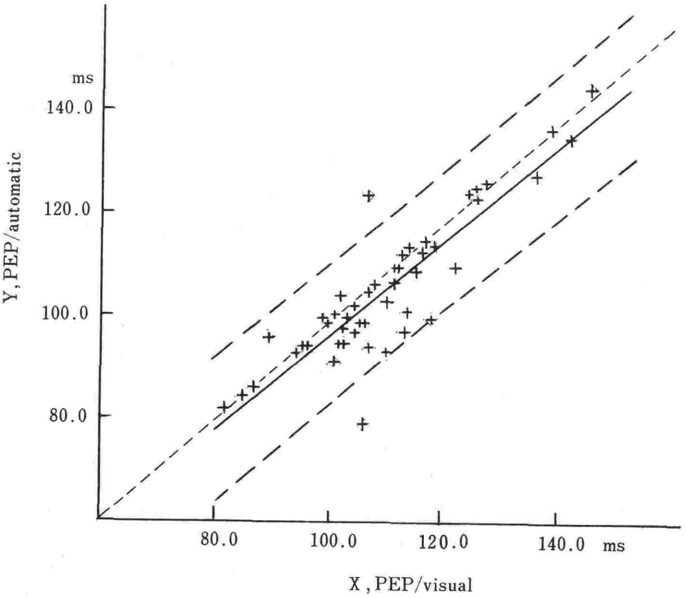

図 9.　自動的に測定された PEP と描記されたものから計算した PEP との相関

Presented by Medical*Online

表 6. AVL 使用の実際例 (説明は本文参照)
Casel. 27 M (ASA1) Gastrectomy

	PEP/LVET	LVET	PEP	HR	DT
Pre-anesthesia	0.34	293	100	70	455
Thiopetal	0.42	280	116	89	277
SCC	0.51	238	121	111	177
GOF	0.59	281	166	79	307
	0.66	282	180	75	334
Operation	0.36	270	98	98	239
	0.39	274	108	98	230
	0.34	290	95	91	268
	0.38	300	116	81	328
	0.50	287	133	80	320
	0.40	292	118	83	306
	0.44	293	128	76	363
	0.47	294	138	75	366
	0.46	298	137	72	395
	0.47	296	138	71	402
	0.41	295	120	69	444
	0.42	301	125	68	447
	0.38	292	111	80	343

0.59, 20分で0.66と増加したものが，手術開始に伴い0.36と麻酔開始値に戻っている．以後は10分ごとのものであるが，一時0.50と増加をみているが，halothane 濃度を調節することで，0.40に復しているが，手術終了時の120分後には0.38とほぼ術前に戻っている．出血量はわずかで輸血は施行していなく，輸液は5％ブドウ糖加乳酸加リンゲル液が 7-10 ml/kg/hr で維持されていた．胃切除術の場合でも，STI の測定は障害なく施行されることが証明されたと同時に，術中のモニタリングのひとつとして有効であることを示した1例といえる．数値をプリントアウトする代わりに図10のようにトレンドモニターとすることも可能であり，こうすれば術中のモニタリングとしての価値はさらに大きくなることが期待される．

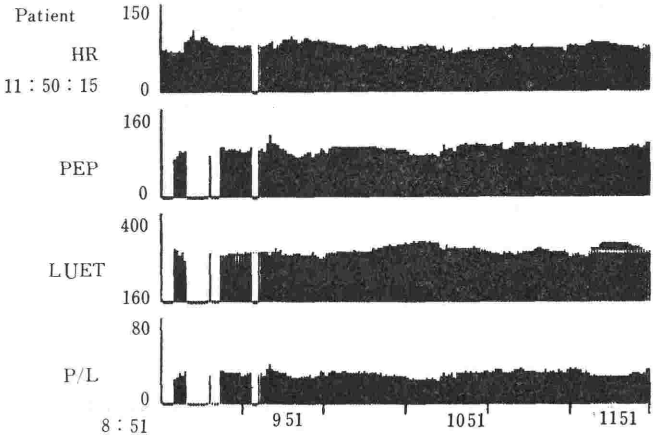

図 10. HR, PEP, LVET, PEP/LVET の3時間にわたるトレンド表示

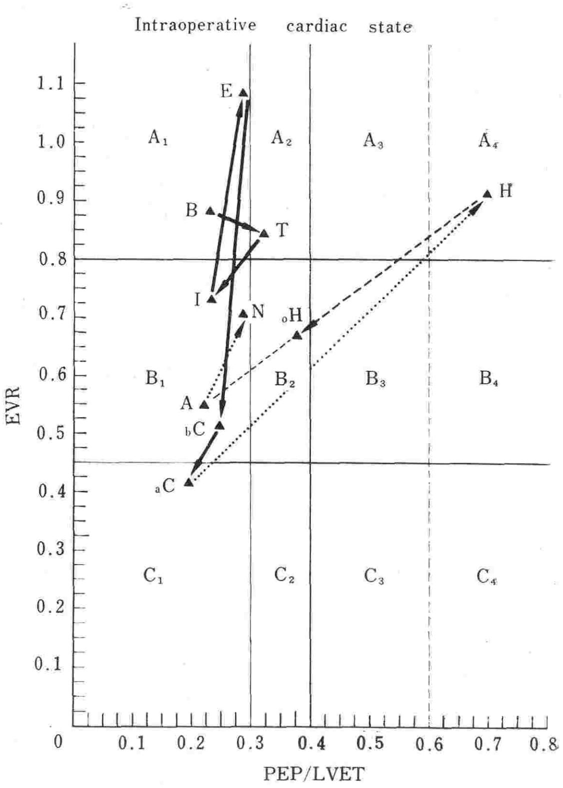

図 11. 麻酔中の心機能の状態を EVR (Y軸)・PEP/LVET (X軸) でとらえようとする試み

3) **STI と PTI** (pressure time indices) STI はこれまでに述べてきたように，心機能についての情報を提供してくれるが，心筋の酸素バランスについての情報は示さない．そこで DPTI/TTI 比を応用すれば，心筋における酸素の需給バランスを同時に知ることができる．DPTI＝拡張期血圧×心拍数×拡張期時間，TTI＝収縮期血圧×心拍数×LVET であり，DPTI/TTI 比は endocardial viability ratio (EVR) ともいわれている[38]．この EVR をY軸に PEP/LVET をX軸にとって，麻酔中の種々の変化をプロットしたものが，図11である．B：麻酔開始前，T：thiopental 投与後，I：気管内挿管後，E：enflurane 投与後，

Presented by Medical*Online

bC: 腹部大動脈クランプ前，C: 腹部大動脈クランプ後，H: halothane 投与後，oH: halothane 投与中止の15分後，A: クランプ除去，N: nitroprusside 投与，ときわめて複雑な動きを示しているが，PEP/LVET 比を 0.4 以下に，EVR を 0.8 以上に保持するようにするための努力の後がうかがわれよう．麻酔中に，このようなプロットを描きながら，患者管理をすれば，患者の心循環系の変化を心機能と心筋の酸素バランスの両面から把握することができることになり，麻酔科医にとって有用な情報を提供してくれることはもちろん，患者管理がより的確に行えることになるものといえる[35)]．

このように，STI の測定は，① 心循環系の変化を示す，② 麻酔薬，麻酔の効果判定に有用，③ 予期せぬ心循環系の変化を反映する，④ 治療に対する反応を示す，ことから術中の心循環系のモニタリングとして有用であるし，PTI を併用すれば，よりその意義は深いといえる．

7. STI 測定上の問題点

図12は心収縮時相に影響を及ぼす循環力学的な諸因子[3)]を示したものである．この図からも解るように、きわめて複雑な因子が相互に関係しあっている．もちろん，種々の心疾患によっても影響を受けるわけである[1,4,5,39)]．たとえば，大動脈弁疾患では PEP は短縮し，LVET は延長するし，左脚ブロックでは PEP は延長する．麻酔中のモニタリングとして STI を考えるとき，心拍出量に影響する前負荷，後負荷，収縮性の 3 つの因子についてまとめてみると，図13のようになる．前述したように PEP/LVET 比は心拍数の因子を除外できるし，麻酔薬では PEP は延長，LVET は短縮とそれぞれ逆の方向に変化するわけでこの比の増加はより顕著に現われる．静脈環流の増加はこの比の増加，減少ではあまり変化をしないか増加する．STI の測定から得られる PEP/LVET 比の観察は従来の方法による動脈血圧，中心静脈圧の測定に代わるものではなく，それらと併用して始めて真価を発揮するものであることを強調したい．手術室におけるルーティンの手段として応用されるには，前述したように，トランスジューサーの問題などの今後に改良を必要とする点も，決して少なくないことも銘

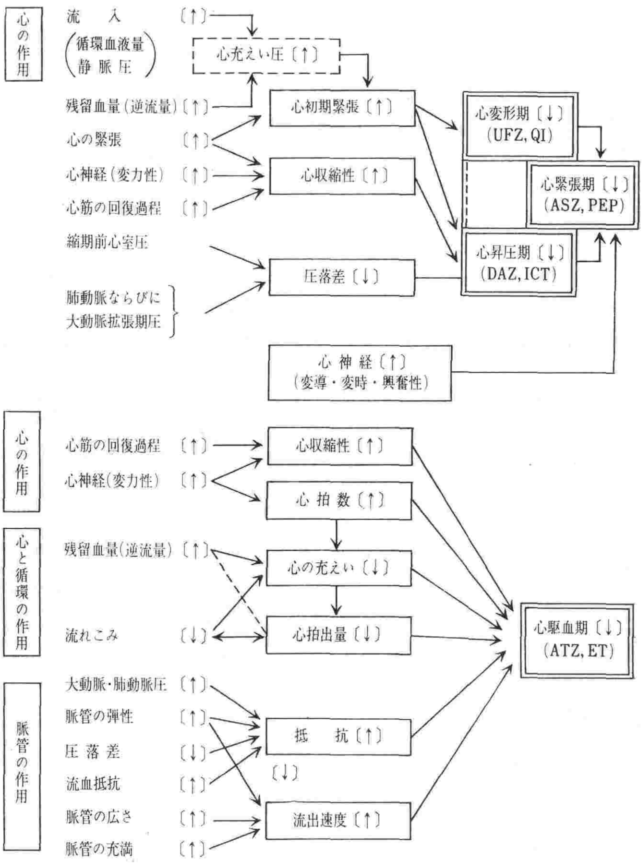

図 12. 心収縮時相に及ぼす種々の因子

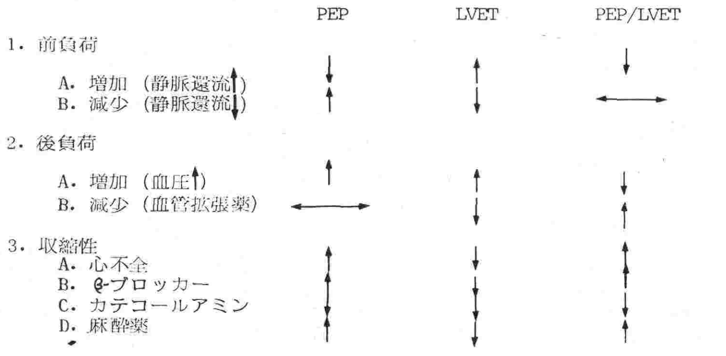

図 13. PEP, LVET, PEP/LVET に及ぼす前負荷，後負荷，収縮性の影響

Presented by Medical*Online

	PNCG	STI	ICG	Doppler（気道内）
生理学的背景:				
心機能の測定	○	○	△	○
測定の直接性	×	×	△	○
測定準備:				
トランスジューサー	1	5	4	1
不快感	−	±	±	+
容易性	○	△	△	△
校正	○	○	○	○
操作:				
電気メスの障害	−	+	+	−
再現性	○	○	△	○
安定性	○	△	△	○
手術操作の障害	+	±	+	±
臨床的有用性:				
情報提供	○	×	×	○
コンピューター分析	○	○	○	○
誤った情報	?	?	?	?
モニタリングとして	?	△	?	○

図 14. PNCG, STI, ICG, Doppler の比較評価

記すべきである．しかしながら，non-invasive であるという利点が生かされて，今後この方面での研究成果を期待するものである．

IV. Non-invasive circulatory monitoring の今後の展望

ニューモカルデオグラム pneumocardiogram; PNCG はニューモタコグラフを気道に装着して空気の流れを測定するもので，得られる波形はバリストカルディオグラム ballistocardiogram のものと類似している．心機能を良く反映するとされ，波形記録の準備は容易である．しかし，波形は複雑であり，麻酔科医にとってその判定は容易なものでないこと，外科的操作，胸部や腹部の動き，換気に伴う雑音が attifact となり，波形の読みをより複雑にする．適当なフィルターを工夫すれば，ある程度解決されるし，気道が測定の場であることは，常に気道確保に慣れている麻酔科医にとっては興味あることで，今後の改良と検討が期待される[27]．この PNCG を含めて，これまでに紹介してきた STI, ICG, Doppler 法を生理学的背景，測定法，操作，臨床的有用性からの評価を図14にまとめた．

大動脈起始部の動脈圧波形から1回拍出量を測定しようとする試みは古くからあったが，最近では，図15で示すように，Aの面積から1回拍出量を測定することが可能となり，すでに TNO

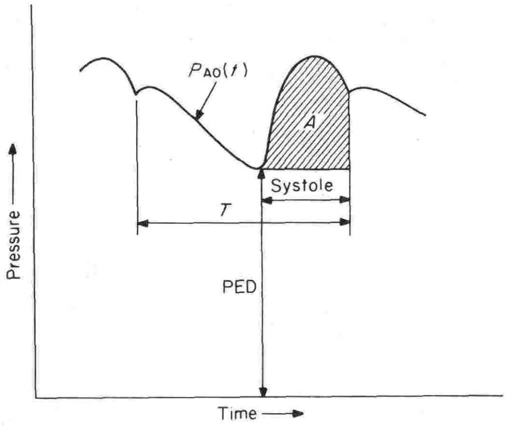

図 15. 動脈波形から1回拍出量を測定する方法

cardiac output computor なるものが市販されていて，SV, CO, HR, BP, dQ/dt, SVR, LVET, pressure-pulse product がデジタルで表示されるようになっている．この場合、動脈圧波形は橈骨動脈ないし上腕動脈に直接カテーテルを測定して得られるわけであるが，経皮的に橈骨動脈の上に non-invasive のトノメーターを置くことで，invasie な場合と同様な動脈波形の描出が可能とされ，近い将来にはルーティンの方法になり得ると期待されている[27]．もし，この方法が手術室において可能となり，invasive な方法と良く相関するものであれば，non-invasive な心循環系モニタリングとして，まさに画期的なものとなろう．

結　　語

Non-invasive な心循環系のモニタリングとしては，PNCG, UCG, ICG, STI, Doppler 法などがあげられるが，このうち手術室において麻酔中の患者管理に応用できるものとしては STI, Doppler 法がある．本稿では主として STI について記述したが，改良する点はあるにしても，有望な方法といえる．心拍数，動脈血圧，STI そしてさらに PTI を併用すれば，麻酔中に使用する薬物の心循環系に対する効果や病態生理の変化を beat-to-beat に分析することが可能となる．このことは麻酔薬の調節が容易に行われることに結びつき，麻酔中の患者管理はより進歩するものといえる．STI の測定は麻酔中はもとより，術前，術後の患者管理への応用も当然期待されるものである．PNCG, UCG など，現時点では手術

Presented by Medical*Online

室での使用に対して種々の問題があるが，これも，近代の医療工学の発展が近い将来に手術室での使用を可能にするものと信じている．

稿を終わるに臨み，今回の貴重な機会を与えていただきました，第1回循環制御研究会会長斎藤隆雄教授はじめ会員の皆様に深謝申し上げます．

文　献

1) Lewis, R. P., Rittgers, S. E., Forester, W. F., Boudoulas, H.: A critical review of the systolic time intervals. *Circulation* **56**: 146～158, 1977.
2) Weissler, A. M.: Current concepts in cardiology: systolic time intervals. *N. Eng. J. Med.* **293**: 321～324, 1977.
3) 木川田隆一：心機図とその臨床．新興医学出版社，28～57, 1977.
4) Lewis, R. P., Forester, W. F., Weissler, A. M.: Systolic time intervals in "Non-invasive Cardiology" edited by Weissler, A. M., Grune & Stratton, New York, 301～367, 1974.
5) Weissler, A. M., Harris, W. S., Schoenfeld, C. D.: Systolic time intervals in heart failure in man. *Circulation* **37**: 149～159, 1968.
6) Weissler, A. M., Harris, W. S., Schoenfeld, C. D.: Bedside technics for the evaluation of ventricular function in man. *Am. J. Cardiol.* **23**: 577～583, 1969.
7) Garrad, 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**: 455～502, 1970.
8) Weissler, A. M., Garrad, C. L.: Systolic time intervals in cardiac disease. *Mod. Concepts Cardiovas. Dis.* **40**: 1～8, 1970.
9) Harris, W. S., Schoenfeld, C. D., Weissler, A. M.: Effects of adrenergic receptor activation and blockade on the systolic preejection period, heart rate, and arterial pressure in man. *J. Clin. Invest.* **46**: 1704～1714, 1967.
10) List, W. F., Hiotakis, K., Gravenstein, J. S.: Die Wirkung von Thiopental auf die Myokardfunktion. *Anaesthesist* **21**: 388～390, 1972.
11) List, W. F.: Digitalis-thiopentone effects on myocardial function-a study of systolic time intervals in man. *Anaesthesia* **30**: 624～629, 1975.
12) Kaplan, J. A., Miller, E. D., Briley, D. R.: A comparative study of enflurane and halothane using systolic time intervals. *Anesth. Analg.* **55**: 263～268, 1976.
13) 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.
14) 劔物　修，本間英司，白井　修，高橋長雄：静脈麻酔薬の PEP, LVET に及ぼす効果—propanidid, ketamine, CT-1341, thiamylal の比較検討．麻酔 **24**: 860～865, 1985.
15) 劔物　修，一瀬広道，岩崎　寛，矢尾久美子，高橋初美，高橋長雄：硬麻，背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.
16) 劔物　修，一瀬広道，真弓享久，萩原　隆，岩崎　寛，青木　充，高橋長雄：Halothane/N_2O および enflurane/N_2O 麻酔の PEP, LVET に及ぼす影響．麻酔 **27**: 578～583, 1978.
17) 劔物　修，真弓享久，一瀬広道，岩崎　寛，萩原　隆，青木　充，高橋長雄：吸入麻酔における各種交感神経作動薬の心機能に及ぼす影響—非観血的方法による評価—．麻酔 **27**: 947～953, 1978.
18) 劔物　修，渡辺　敏，田中　亮：Halothane/N_2O 麻酸における Carnigen, Effortil の心機能に及ぼす効果．臨床麻酔 **2**: 1533～1537, 1979.
19) 劔物　修，渡辺　敏，田中　亮：Halothane/N_2O 麻酸における Carnigen の心機能に及ぼす影響．北里医学 **9**: 267～273, 1979.
20) 劔物　修，田中　亮：Trimethaphan, nitroprusside の心機能に及ぼす影響．麻酔 **29**: 254～260, 1980.
21) Smith, N. T., Calverley, R. K., Eger, E. I., Quinn, M, Prys-Roberts, C.: Changes in systolic time intervals during halothane, enflurane, or isoflurane anesthesia in healthy man. in "Systolic time intervals" edited by List, W. F., Gravenstein, J. S., Spodick, D. H., Springer-Verlag, New York, 265～272, 1980.
22) Lance, V. O, Spodick, D. H.: Heart rate-left ventricular ejection time relation. *Br. Heart J.* **38**: 1332～1338, 1977.
23) Boudoulas, H., Rittgers, S.E., Lewis, R.P., Leier, C. V., Weissler, A. M.: Changes in diastolic time with various pharmacologic agents-implication for myocardial perfusion. *Circulation* **60**: 164～169, 1979.
24) Swan, H. J. C.,Ganz, W., Forrester, J.: Catheterization of the heart in man with use of flow-directed balloon-tipped catheter. *N. Eng. J. Med.* **283**: 447～451, 1970.
25) Pace, N. L.: A critique of flow-ditected pulmonary artery catheterization. *Anesthesiology* **47**: 455～465, 1977.
26) 村松　準，角張雄二：心疾患—総合的診断の実際．へるす出版，21～89, 1979.
27) Smith, N. T.: Non-invasive assessment of the cardiovascular system. in "Circulation in Anesthesia-applied physiology and pharmacology-" edited by Prys-Roberts, C., Blackwell Scientific publications, Oxford, 561～604, 1980.

Presented by Medical*Online

28) Reitan, J. A., Smith, N. T., Borison, S., Kadis, C. B.: The cardiac pre-ejection period: A correlate of peak ascending aortic blood-flow acceleration. *Anesthesiology* **36**: 76～80, 1972.

29) Talley, R. C., Meyer, J. F., McNay, J. L.: Evaluation of the pre-ejection period as an estimate of myocardial contractility in dogs. *Am. J. Cardiol.* **27**: 384～391, 1971.

30) Martin, C. E., Shaver, J. A., Leonard, J. J.: Physical signs, apexcardiography, and systolic time intervals in angina pectoris. *Circulation* **46**: 1098～1114, 1972.

31) Guiha, N. H, Cohn, J. N., Mikulic, E., Franciosa, J. A., Limas, C. J.: Treatment of refractory heart failure with infusion of nitroprusside. *N. Eng. J. Med.* 291: **291**: 587～592, 1974.

32) Miller, R. R., Vismara, L. A., Zelis, R., Amsterdam, E. A., Mason, D. T.: Clinical use of sodium nitroprusside in chronic ischemic heart disease. *Circulation* **51**: 328～336, 1975.

33) Lappas, D. G., Lowenstein, E., Waller, J., Fahmy, N. R., Daggett, W. M.: Hemodynamic effects of nitroprusside infusion during coronary artery operation in man. *Circulation* **54**: Suppl. 111, 4～10, 1976.

34) Rowe L. G., Henderson, R. H.: Systemic and coronary hemodynamic effects of sodium nitroprusside. *Am. Heart J.* **87**: 83, 1974.

35) Dauchot, P. J., Gravenstein, J. S.: Use of systolic time intervals in the operating room. in "Systolic time intervals" edited by List, W. F., Gravenstein, J.S., Spodick, D. H., Springer-Verlag, New York, 49～56, 1980.

36) Marsoner, H. J., Savora, C., Moser, W., List, W.F.: An instrument for the on-line determination of systolic time intervals. ibid. 110～116.

37) Schalk H. V., List, W. F., Marsoner, H. J.: Automatic versus visual evaluation of systolic time intervals. ibid. 95～99.

38) Philips, P. A., Marty, A. T., Miyamoto, A. M., McCardy, M. D., White, J. A., Morgan, B. J.: Clinical method for detecting subendocardial ischemia after cardiopulmonary bypass. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* **69**: 30～39, 1975.

39) Wanderman, K. L., Goldberg, M. J., Stack, R. S., Weissler, AM: Left ventricular performance in mitral regurgitation assessed with systolic time intervals and echocardiography. *Am. J. Cardiol.* **38**: 831～835, 1976.

Summary

Current concepts in non-invasive circulatory monitoring, especially in the operating room

Osamu Kemmotsu

Department of Anesthesiology,

Kitasato Univeosity School of Medicine,

Sagamihara 228, Japan

Key words: non-invasive, circulatory monitoring, operating room, systolic time intervals, PEP/LVET, anesthetics, sympathomimetic agents

Among several non-invasive methods for assessing cardiac performance such as peumocardiogram, impedance cardiogram, ultrasound cardiogram, Doppler velocity meter and systolic time intervals (STI), STI is quite promissing in perioperative cardiovascular monitoring. Some experience with intraoperative, computerized STI monitoring system allows us to answer the following questions related to the use of STI monitoring in the operating room. These questions are 1) whether STI measurement is desirable and feasible in the operating room, 2) whether STI is useful to the anesthesiologist, and 3) whether STI is acceptable as non-invasive, intraoperative circulatory monitoring.

The following statements may justify to answer to the above questions;

1) STI can be detected non-invasively, minimizing iatrogenic complications. 2) The preparation time for STI measurement is minimal. 3) Electrical safety is comfirmed. 4) The components of the STI; PEP (preejection period),

Presented by Medical*Online

LVET (left ventricular ejection time) and the ratio of PEP/LVET display some characteristic changes of depression and improvement of cardiac function by both anesthetics and sympathomimetic agents used during anesthesia. 5) STI, especially PEP/LVET appear to be sensitive to changes in preload, afterload and contractile state of myocardium 6) Automated STI measurement provides the continuous and beat-to beat information to the anesthesiologist. 7) The simultaneous use of STI and pressure time indices (PTI) as DPTI/TTI ratio provides indications of the balance of cardiac oxygen consumption with supply, and may be more informative in regard to the cardiac conditions fo the patients in perioperative period. 8) When associated with monitoring of heart rate, blood pressure and PTI, STI extremely improve the analysis of the cardiovascular reaction to pharmacologic and pathophysiologic events, and may be useful for the titration of anesthetic drugs and for the detection of early changes in the cardiovascular system of the patient.

However, it is also true that some problems exist concering on the compatibility with surgical procedures. For instance, face and neck surgery as well as procedures in the lateral and prone positions can interfere with the carotid pulse transducer, and so do procedures in the chest with the heart sound transducer. Then STI monitoring techniques using esophageal transducers should be evaluated. I believe that current technology in medicine may make those techniques applicable in the near future.

討　論

後　藤（北大）

①　頸動脈波をとるトランスデューサですが，何回も繰り返して測定するときに，トランスデューサのあてる位置とか，あてる角度のずれはあまり成績に関係はないのでしょうか．

②　小児に使うトランスデューサのよい製品がありましたら教えて下さい．成人用のものを応用できるでしょうか．

劔　物（北里大）

①　STI の中では頸動脈波のとり方が一番むずかしいわけです．トランスデューサのあて方によって頸動脈波の立ち上がりや dicrotic notch の現われ方がずれてきたり，はっきりとみえなくなったりします．このように確かにあて方は問題ですが，高さとか振幅をみているのではなくて時相のズレを観察しているので，ある程度みにくくなってきても（なまってきても），AVL の機械でもそうですが，それによってでる artifact はあまり問題にならないわけです．そして慣れてきますと，1人の患者でトランスデューサのあてる部位を何回もずらすことをしなければ，この点はスムーズにいくようになると思われます．

②　小児ではやはり無理なようで，私が経験した使用例では8才の子供が最年少です．幼小児用のトランスデューサが作られているかどうかは存じませんが，作られて然るべきだと思います．現在は成人用のものを使用している段階です．

熊　沢（医歯大）

麻酔前に PEP/LVET などを測ってこれを対照として，麻酔をかけてからまた測って比較する場合、プローブのあて方が対照と同じでなければかなりデータは違ってくるわけですが．

劔　物

それほど厳密ではありません．最初は軽くとめておいて実際に測定するときに絆創膏などで補強しています．またプローブにカフをとりつけておいて測定時にカフをふくらませると tight になるという工夫などもしています．

熊　沢

STI をモニタして非常によかったという具体的な経験はおありでしょうか．

劔　物

今日報告させて頂いたのは手術対象となる一般状態良好な患者さんで手術開始前に観察したものです．しかし AVL の機械を用いて手術中もずっとモニタした成績もあります．（スライドで説明）

Presented by Medical*Online