

原 著

小児の麻酔導入および気管内挿管時における心拍出量の変化—UltraCOM®による非侵襲的・連続的測定

今井 真* 古御堂 均* 真尾 秀幸
横田 祥* 水嶋 雅子* 劔物 修*

要 旨

3才から9才までの小児39例を対象に麻酔導入時および気管内挿管時の循環動態の変化を超音波ドプラー法 (UltraCOM®) により連続的に測定し、以下の結果を得た。ハロセン導入群 (19例)、サイアミラール導入群 (10例) では、サクシニルコリンおよび気管内挿管により、主に脈拍数の増加に依存した20~30%の心拍出量の増加がみられた。一回心拍出量の変化は小さかった。この心拍出量の増加は、フェンタニールを少量投与した群 (10例) では認められなかった。

小児の麻酔導入・挿管時においても循環動態の変動は大きく、フェンタニールの投与はこの変動を抑えた。

目 的

気管内挿管の循環系に与える影響はきわめて大きく、とくに血圧の急激な上昇は、①心電図上、ST 低下、②心室性不整脈¹⁾、③肺水腫、④脳動脈瘤破裂²⁾、などを引き起こす。この循環系の変化を抑えるため、①表面麻酔薬の散布、②リドカインの静注、③交感神経遮断薬の投与、④血管拡張薬の投与、⑤深麻酔などが試みられている³⁾。しかし、これらはおもに成人における変化とその対処の方法であり、小児麻酔における導入時およ

び気管内挿管時の循環動態に関してはその研究はほとんどおこなわれてない。

一方、非侵襲的な心拍出量の測定法のなかでも、とくに超音波ドプラー法を応用した UltraCOM® は信頼性も高く実用的であるとされている。成人 (9例) における UltraCOM® による心拍出量と Swan-Gantz カテーテルによる心拍出量との相関を検討した私共の成績では、 $r=0.815$ と良い相関関係がみられている (図1)。今回、私共は小児の麻酔導入および挿管時に UltraCOM® を使用し、Cardiac Index (CI)、Stroke Index (SI)、の変

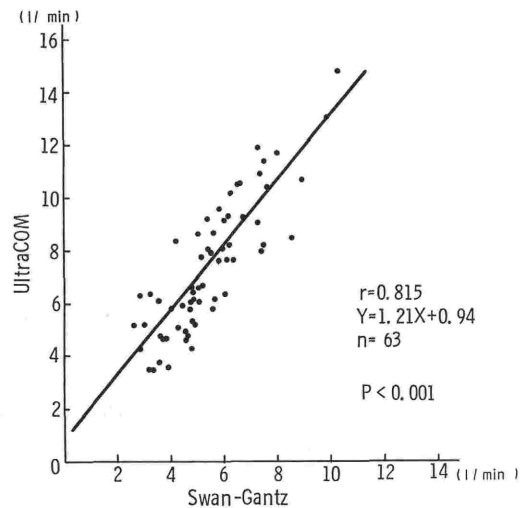


図1 UltraCOM® と Swan-Gantz カテーテルによる心拍出量との相関

*北海道大学医学部麻酔学教室

化を連続測定し、麻酔導入法の違いによるそれらの変化の検討を加えたので報告する。

対象ならびに方法

ASA 分類 I または II の心疾患のない年令 3 才～9 才までの全身麻酔をうける小児 39 例 (平均年令 5.6 才) を対象とした。これらをハロセン群 19 例 (平均年令 4.8 才), サイアミラルール群 10 例 (平均年令 6.9 才), フェンタニール群 10 例 (平均年令 6.1 才) の 3 群に分けた。前投薬は硫酸アトロピン 0.01 mg/kg とヒドロキシジン 1～2 mg/kg を入室 45 分前に筋注投与した。ハロセン群では、ハロセン 0.5～2.0%, 笑気 60～70%, 酸素 30～40% による緩徐導入とした。サイアミラルール群ではサイアミラルール 3～4 mg/kg の静脈内投与による急速導入とした。フェンタニール群では、パンクロニウム 0.02 mg/kg 投与後、フェンタニールを 2～3 μg/kg 投与し、サイアミラルール (2～3 mg/kg) もしくはハロセン (0.5～2.0%) により麻酔を導入した。サクシニルコリン (以下 SCC) を 1 mg/kg 投与後、気管内挿管は 15～30 秒以内に終了させた。

各群において、麻酔導入前を対照とし、導入後、サクシニルコリン投与後、気管内挿管終了直後の

4 点において、循環系諸項目 (血圧 (間接法), 心拍数 (HR), 心係数 (CI), 一回拍出係数 (SI)) を測定し、導入前値に対する % 変化に換算して比較検討した。成績は mean ± S. D. で表現し、統計処理は Student's paired t-test と最小 2 乗法により行い、 $p < 0.05$ を推計学的に有意と判定した。

使用した超音波ドプラー装置は、Lawrence Medical System 社製 UltraCOM® である。心拍出量は大動脈の血流速度と A モードエコー図からの大動脈径を測定することにより求められる。大動脈径はパルス反射用超音波トランスデューサーを用い、経胸壁的に大動脈基始部のエコー図を描出させて大動脈径を計測する。大動脈を円柱と仮定して断面積を算出する (図 2 A)。次に持続波ドプラーモードで上行大動脈内の赤血球の移動により発生するドプラー偏移を検出する。偏移周波数は速度に変換され、Eject Time とから収縮速度積分が算出される (図 2 B)。この値と断面積から一回心拍出量を算出し、一定時間内の一心拍出量を合計し、それを時間で割り心拍出量を求める。なお、Signal Level (以下 SL) は安定時の最大点を選んだ。

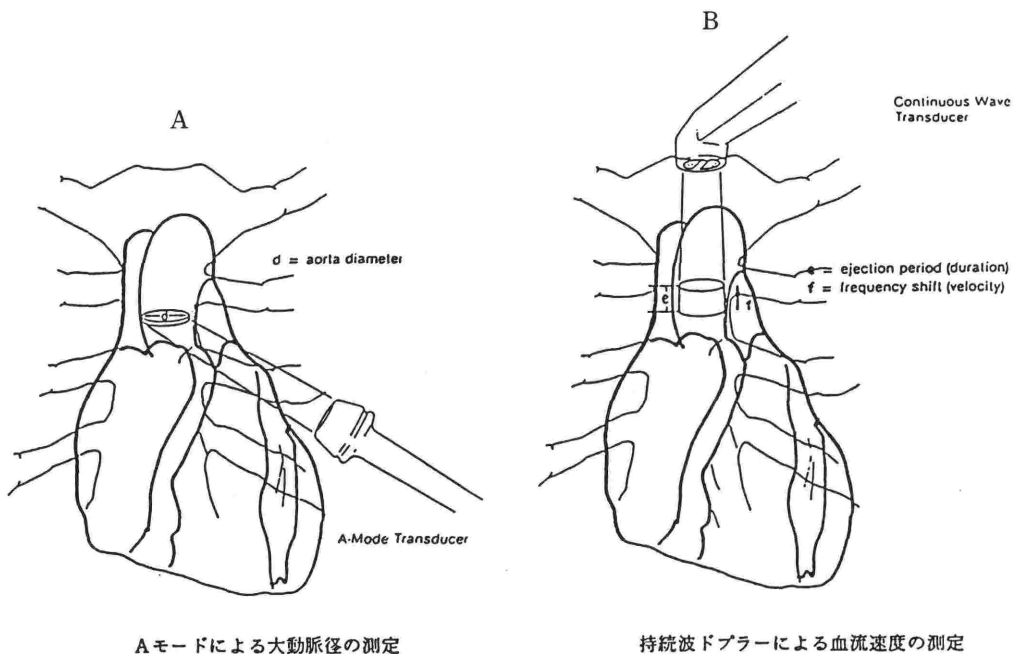


図 2 Aモードによる大動脈径の測定と持続波ドプラーモードによる心拍出量の測定

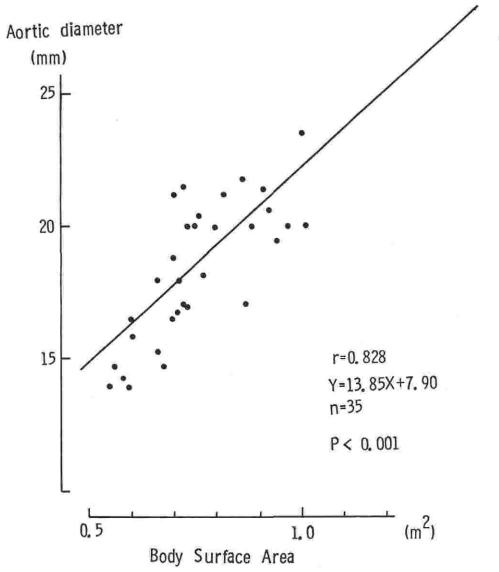


図3 大動脈径 (Aモードによる) と体表面積との相関

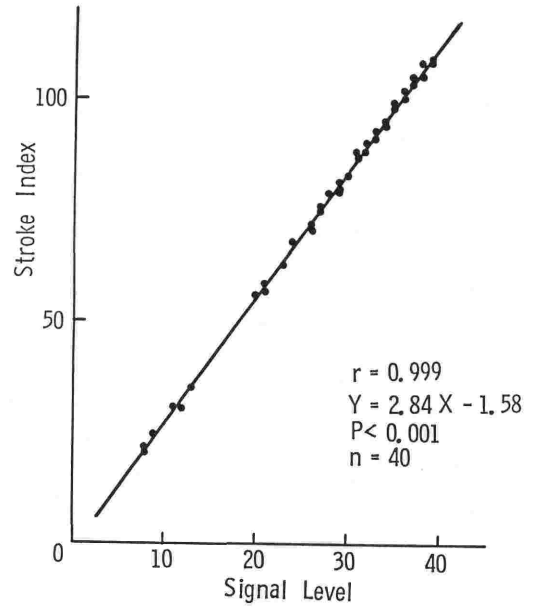


図4 Stroke Index と Signal Level との相関

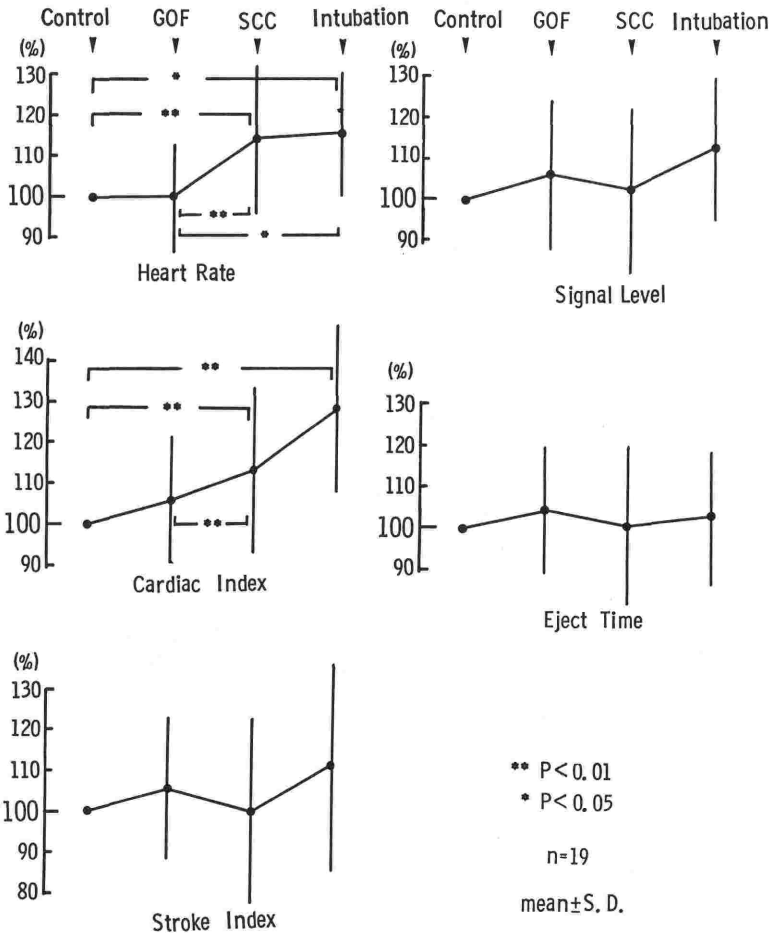


図5 ハロセン群における血行動態の変化

結 果

1. Aモードによる大動脈径の測定は不安定であり熟練が必要とされるが、体表面積との相関を検討すると両者の間には $r=0.828$ ($p<0.001$) ときわめて高い相関関係が得られた (図3)。
2. 収縮速度積分 (Systolic Velocity Integral; SVI) は大動脈内の赤血球による偏移周波数速度から導かれるが、SI との間には $r=0.999$ ($p<0.001$) と非常に高い相関を得、両者がほとんど同一のものであることを確認した (図4)。
3. ハロセン群においては、GOF (笑気、酸素、ハロセン) の緩徐導入後に CI がやや増加傾向 (106%) をみせ、SCC 投与後に HR (115%) と CI (114%) が著増した。SI の変化 (101%) は小

- さかった。気管内挿管により、HR は依然高値 (116%) を取り続け、CI はさらに増加する (129%) 傾向をみせた。この際、SI は増加傾向 (112%) を示していた (図5)。
4. サイアミラール群では、サイアミラールによる急速導入後に HR が増加し (108%), SCC 投与によりさらに高値 (118%) を示した。CI は SCC 投与後 (107%) および気管内挿管後 (116%) と段階的に増加していき、HR と似た変化を示すが、SI が SCC 投与後に低下している (91%) ため、CI の変化は HR ほど大きくはなかった (図6)。
 5. フェンタニール群では、フェンタニール投与後に HR が低下し (94%), 同時に CI も低下 (85%) を示した。しかし、その後の SCC およ

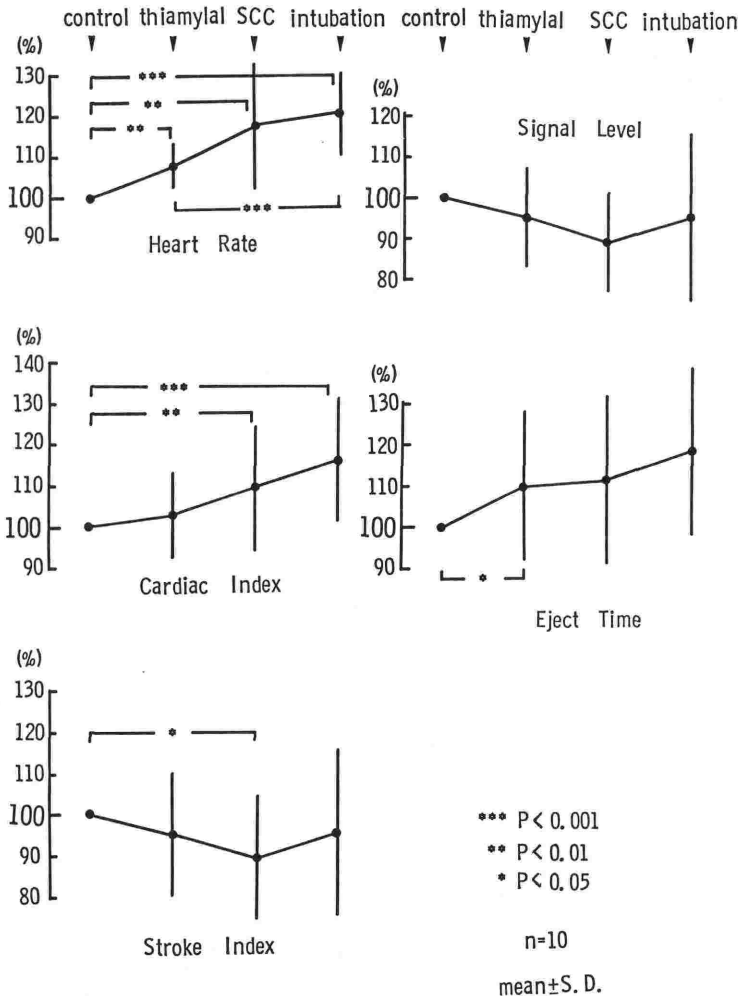


図6 サイアミラール群における血行動態の変化

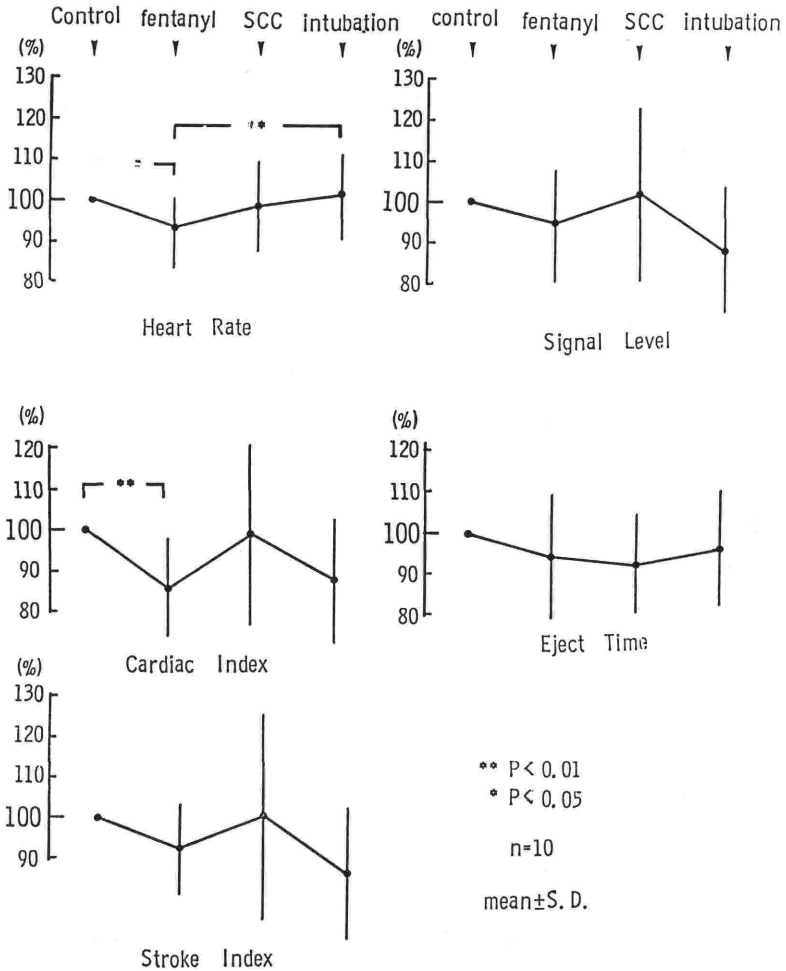


図7 フェンタニール群における血行動態の変化

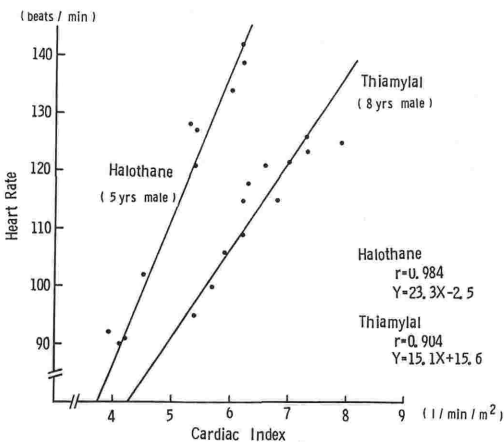


図8 Cardiac Index と Heart Rate との相関

び気管内挿管による刺激によっても、HR (99%→101%) および CI (99%→87%) にはほとんど変化を認めなかった (図7)。

6. 上記の結果は、小児の麻酔導入時の CI の変化が HR の変化に依存していることを示唆しているが、両者の相関を調べた。ハロセン群 ($r=0.984$) およびサイアミラル群 ($r=0.904$) において CI と HR の間に高い相関関係がみられた (図8)。

7. 聴診法による血圧の変化を図9に示す。ハロセン群において SCC 投与後に収縮期圧の増加を観察し、さらにハロセン群およびサイアミラル群において気管内挿管後の収縮期圧の上昇をみている。フェンタニール群では、きわめて落ち着いた血圧の変化を示していた (図9)。

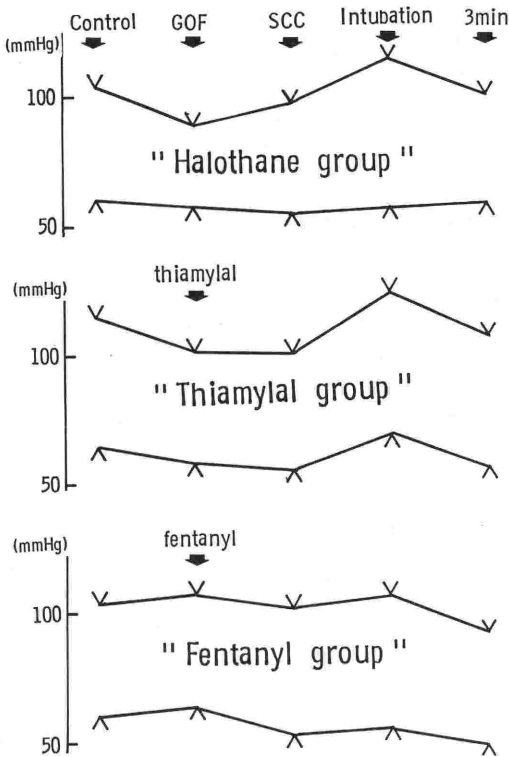


図9 各群における血圧の変化

考 察

非観血的心循環系モニタリングのなかで、超音波ドプラー法は臨床への応用が認められている方法のひとつである⁴⁾。とくに観血的方法の応用が制限される小児においてはその有用性が高く評価され、生後3日から17才までの小児でドプラー法と Fick 法による心拍出量を比較した Hoenecke^ら⁵⁾ や Berman^ら⁶⁾ は、両者の間に $r=0.95$ 以上の高い相関があると報告している^{5,6)}。里方^ら⁷⁾ も超音波パルスドプラー法を心内短絡を有する小児に応用し、その有用性を確認している。

麻酔科領域においては、米村^ら⁸⁾ が小児麻酔に超音波パルスドプラー法 (CardioFlo TM) を使い、イヤープース法と同程度に信頼性が高いとし、大動脈基部内径を推定するための予測式を作成している。彼ら⁸⁾ は小児において超音波ドプラー法による測定が容易な理由として、1) 胸骨の化骨が不十分なため、超音波ビームの透過性が良好である、2) 胸骨上から大動脈基部までの距離が短いため、sample depth の決定が容易である、3) 肥満児でも胸骨上窩の陥凹が十分にあり、 θ を容

易に小さくできた、ことを挙げている。

このように超音波ドプラー法 (UltraCOM[®]) の長所は、非侵襲的であること、1 分間に10回以上もの連続測定が可能であること、私共の考案したような固定装置を用いれば、麻酔導入を行いながらも単独で操作・測定が可能であることであり、短所としては、大動脈径測定に熟練を要すること (心臓手術で直視下での測定と比較したが誤差は小さかった)、頭・頸部、上腹部の手術には不適であること、胸郭に異常を示す患児 (たとえば、漏斗胸・鳩胸) には測定が困難であることなどがあげられる。鈴木^ら⁹⁾ も UltraCOM[®] を手術中に使用する際に、頭頸部および胸部の手術ではプローブをあてることができないとしている。さらに意識的に協力しないもの、皮下気腫を有する患者、肺が大きすぎて縦隔洞の ultrasound window (本来胸腔の血流測定は解剖学的にも生理学的にも超音波による測定に適しているとされている¹⁰⁾) を消してしまう閉塞性肺疾患を有する患者、および患者が計測時間に耐えられない場合、大動脈弁症を有する患者なども除外される。また、測定結果を解釈するうえで、Signal Level (SL) が問題となる。SL は収縮速度積分とほぼ同一のものであり、SI をあらかわすことを私共は確認したが、Colocousis^ら¹¹⁾ も収縮速度積分値は熱稀釈法による Stroke Volume と $r=0.97$ という高い相関関係があるとしている。したがって、UltraCOM[®] の測定に際しては、SL の安定時における最大値をとることが要求される。UltraCOM[®] は聴診法による血圧測定よりもはるかに頻回な測定が可能であるという利点を有するが、成績を解釈するうえではこの点に注意する必要がある。

挿管操作時の循環動態に関しては、Stoelting^ら¹²⁾ はサイアミラル (4 mg/kg) と SCC (2 mg/kg) 投与後の気管内挿管により、平均動脈圧は 111 mmHg から 130 mmHg へ、HR は 70 beats/min から 83 beats/min へ、CI は 2.9 l/min/m² から 2.5 l/min/m² へ、SI は 41 ml/m² から 30 ml/m² へと変化するとしている。これらの成績は色素稀釈法によるもので、麻酔導入および気管内挿管時における連続的な変化を超音波法ほど正確には把握できない。

成人における気管内挿管時の血圧、脈拍数の変

化を検索した報告は多いが、心拍出量の変化に関する報告はきわめて少なく、とくに小児の麻酔導入時および挿管操作時の心拍出量の変化に関しては、ほとんど報告がない。私共は、カテーテル法による心拍出量の測定が困難と思われる9才以下の小児を対象とし、UltraCOM®により心拍出量等の変化を検討できた。その結果、麻酔導入後のHRの変化は、ハロセン群ではほとんど変化せず、サイアミラル群では有意な増加を示し、フェンタニール群では有意な低下を示している。小児のサイアミラルによる導入でHRが増加する機序として血圧低下による反射性の頻脈が考えられる。バルビツレート系薬物は心機能を抑制するが、今回のサイアミラル導入ではCIの低下を認めず、血圧低下による反射的なHRの増加とは考えにくい。さらにbaroreceptorはサイアミラルによりほとんど影響を受けない¹³⁾とされており、今回のサイアミラルによるHR増加の機序は不明である。

ハロセン群とサイアミラル群においてSCCおよび気管内挿管後にHRおよびCIが著増している¹⁴⁾。SCCは通常使用量では循環系への影響はすくないといわれている。しかし、麻酔下でのヒトに通常量のSCCを投与すると、注射直後一過性の末梢血流量および心拍数の減少について、それらの増加とともに血圧の上昇がみられる¹⁴⁾。SCCが心筋収縮力を増加させること¹⁵⁾や、イヌで洞房結節動脈からのSCC注入による用量依存性の心拍数増加が、 β 遮断薬で阻止されること¹⁶⁾が認められている。したがって、SCCの投与は、とくに小児においてはHRを増加させ、その結果CIの増加を招くと考えられる。すなわち小児においては一回拍出量の変化が小さく、心拍出量は脈拍数により左右される。今回の研究においてもこの点に関して、アトロピンの投与による頻脈の際のCIの変化を観察した際に、SCC投与時の変化と似た傾向を示した。成人のGOF麻酔(ハロセン2%)下で、アトロピンの静脈内投与により心拍数を45%増加させたところ、心拍出量が20%増加したという報告¹⁷⁾もある。今回の小児の成績では、ハロセン群においてSCC投与により14%のHRの増加時にCIは14%増加し、挿管時の16%のHRの増加に対してはCIは29%増加している。すなわち小児では成人よりもHR

の変化率以上にCIの変化率が大きいことを示している。サイアミラル群においても、SGCによりHRは18%、挿管により21%増加しているのに対して、SIが低下しているにもかかわらずCIは7%および16%の増加を認めている。成人では挿管後のSIの低下がみられるとの報告がある³⁾が、今回の研究においてこのSIの低下がハロセン群でみられずにサイアミラル群でみられたのは、サイアミラル群では比較的对象年齢が大きくそれだけ成人に近い変化を示すことによるのかもしれない。

このように小児のハロセンおよびサイアミラル麻酔導入に際してHR、CIの増加がみられるため、私共はフェンタニールの投与がこの変化を抑えることが可能かどうかを検討した。成人におけるフェンタニールの気管内挿管時の投与は広く行われており¹⁸⁾、フェンタニール8 $\mu\text{g}/\text{kg}$ の投与で挿管後の血圧上昇を抑えることができるとするMartinら¹⁹⁾の報告では、CIはフェンタニール群で3.0 l/min/m²から導入後2.3 l/min/m²へ減少し、挿管直後では2.7 l/min/m²であった。チオペンタール群では、3.0→2.6→3.1 l/min/m²であった。SIはフェンタニール群で、42→31→32 ml/m²であり、チオペンタール群で37→33→33 ml/m²であった。

今回の成績ではフェンタニール2~3 $\mu\text{g}/\text{kg}$ の投与により、SCCとそれに続く気管内挿管によるHRおよびCIの増加を抑えることができた。しかし小児麻酔の導入時におけるフェンタニールの投与は問題が無いわけではなく、たとえばフェンタニール投与による徐脈は有意なCIの低下をひき起こしている。さらにフェンタニール投与後の胸壁硬直に対し、非脱分極性筋弛緩薬の前投与が必要となり、この操作は小児麻酔においてはやや煩雑となる。これらの点を考慮にいと、ハロセンおよびサイアミラル導入時にみられるSCCと気管内挿管によるHRとCIの20~30%の増加が負担となる心機能異常を示す小児の場合には、フェンタニールの投与が適応となろう。

もちろん小児の麻酔導入に関しては、精神的庇護と円滑な導入および挿管操作³⁾が導入薬の選択以上に、循環動態を安定させる重要な因子となることも銘記する必要がある。

今回、UltraCOM®を使用することにより心拍

出量などの循環諸量を連続的かつ非侵襲的に測定した結果、小児麻酔においても麻酔導入および気管内挿管操作が循環系に与える影響は大きいことが分った。その変化はおもに HR に依存した CI の増加であり、平均20~30%の増加を観察した。しかし、なかには極端な増加を示す症例も存在し、潜在性に心機能の低下を有する患児においてはその危険性は大きく、それを避ける手段が講じられる必要がある。今回は、フェンタニールを少量投与する方法を試みたが、その結果ハロセン群およびサイアミラル群にみられた SCC 投与時および気管内挿管時の CI および HR の増加を有意に抑えることができ、安定した循環動態を得ることができた。今後、小児麻酔においてもとくに循環系にリスクを有する症例では、積極的にフェンタニールを使用しても良いものと考ええる。

結 論

超音波ドプラー法 (UltraCOM®) を小児麻酔の導入に応用し循環動態を観察した。その結果、ハロセン、サイアミラルによる麻酔導入ではサクシニルコリン投与と気管内挿管により、主に脈拍数に依存した心拍出量の増加をみた。この変化は、フェンタニールを少量投与することにより抑えることができた。

本論文の要旨は、第7回循環制御医学会総会(京都、1986年4月)および第23回日本臨床生理学会総会(金沢、1986年10月)にて報告した。尚、多大な協力をいただいた奈良光代嬢および教室員の皆様に感謝いたします。

文 献

- 1) Prys-Roberts, C., Greene, L. T., Meloche, R., et al.: Studies of anesthesia in relation to hypertension. II. Haemodynamic consequences of induction and endotracheal intubation. *Br. J. Anaesth* 43:531-546, 1971.
- 2) Fox, E. J., Sklar, G. S., Hill, C. H., et al.: Complications related to the pressor response to endotracheal intubation. *Anesthesiology* 47:524-525, 1977.
- 3) Stoelting, R. K.: Circulatory changes during direct laryngoscopy and tracheal intubation. *Anesthesiology* 47:381-384, 1977.
- 4) 剣物 修: 非観血的循環系モニタリングの現況. *循環制御* 7: 833-840, 1986.
- 5) Hoenecke, H. R., Goldberg, S. J., Carnahan, Y., et al.: Controlled quantitative assessment of pulmonary and aortic flow by range gated pulsed doppler in children with cardiac disease. *Circulation* 64:IV 167, 1981.
- 6) Berman Jr. W., Eldridge, M., Yabek, S., et al.: Pulsed doppler determination of cardiac output in neonates and children. *Circulation* 64:IV 617, 1981.
- 7) 里方一郎, 新垣義夫, 竹内則夫・他: 超音波パルスドプラー法による小児の心拍出量および肺体血流量比の測定, *小児科臨床* 38: 465-470, 1985.
- 8) 米村栄茲, 福島和昭: 超音波パルス変調ドプラー法による小児の心拍出量の測定. *臨床麻酔* 10: 1455-1459, 1986.
- 9) 鈴木 照, 上松治孝, 山本道雄: 非観血的心拍出量モニターの術中使用経験, 一熱稀釈法と比較して一. *循環制御* 6: 147-151, 1985.
- 10) Light, L. H.: Noninjurious ultrasonic technique for observing flow in the human aorta. *Nature* 224:1119-1121, 1969.
- 11) Colocousis, J. S., Huntsman, L. L., Curreri, P. W.: Estimation of stroke volume changes by ultrasonic doppler. *Circulation* 56:914-917, 1977.
- 12) Stoelting, R. K., Peterson, C.: Circulatory changes in patients with coronary artery disease following thiamylal-uccinylcholine and tracheal intubation. *Anesth Analg* 55:232-234, 1976.
- 13) Goodman, L. S. & Gilman, A.: *The Pharmacological Basis of Therapeutics*. 6th ed. Macmillan Pub. Co., New York, 1980 p. 355.
- 14) Wahlin, A.: The action of succinylcholine on the peripheral blood vessels of the cat. *Acta Anaesth Scand* 4:21-31, 1960.
- 15) 遊佐津根雄, 片岡敬文, 岩月賢一: 筋弛緩剤の心筋収縮力に及ぼす影響. *麻酔* 14: 1032-1039, 1965.
- 16) 安田 勇, 平野敏雄, 峯田広登・他: Succinylcholine および Succinylmonocholine の洞房結節に対する影響. *麻酔* 29: 1271, 1980.
- 17) Barash, P. G., Glanz, S., Katz, J. D., et al.: Ventricular function in children during halothane anesthesia. *Anesthesiology* 49:79-85, 1978.
- 18) 安斉千順, 並木昭義, 表 圭一・他: フェンタニール併用による急速導入, 気管内挿管時の循環動態および血漿カテコラミンの変動. *臨床麻酔* 8: 1517-1520, 1984.
- 19) Martin, D. E., Rosenberg, H., Aukburg, S. J., et al.: Low-dose fentanyl blunts circulatory responses to tracheal intubation. *Anesth Analg* 61:680-684, 1982.

Changes of cardiac output during induction and intubation in children by ultrasonic doppler method (UltraCOM®)

Makoto Imai, Hitoshi Furumido, Hideyuki Mashio
Sho Yokota, Masako Mizushima and Osamu Kemmotsu

Department of Anesthesiology, Hokkaido University School
of Medicine, Sapporo 060.

Measurements of hemodynamic changes (Heart Rate (HR), Cardiac Index (CI), Stroke Index (SI)) were performed in 39 surgical children (averaged aged of 5.6 years old), by a non-invasive cardiac output measurement utilizing ultrasonic doppler method (UltraCOM®). They were divided into 3 groups, halothane slow induction (0.5–2.0%) group, thiamylal rapid induction (3–4 mg/kg) group and fentanyl pretreatment (2–3 µg/kg) group. In each group succinylcholine chrolide (SCC) 1 mg/kg were given to facilitate intubation.

The following results were obtained. 1) In halothane (19 cases) and thiamylal (10 cases) group, HR and CI increased (20–30%) significantly after both SCC administration and endotracheal intubation. SI had a tendency to increase (12%) in halothane group after intuba-

tion and to decrease (9%) after SCC administration in thiamylal group. 2) In fentanyl group (10 cases), HR and CI decreased after induction. But no changes were observed in neither HR nor CI following SCC administration and intubation.

The results obtained in this study indicate that 1) in children CI changes were mainly dependent on HR changes during induction and intubation. 2) in high risk children with cardiac disease, halothane and thiamylal induction would be stressful during SCC administration and intubation because of increased HR & CI. 3) in such cases, fentanyl-pretreatment before intubation would be indicated in order to attenuate hemodynamic responses seen in halothane and thiamylal groups.

Key words: ultrasonic doppler method, children, hemodynamic changes, induction and intubation