

## 2. 乳幼児の体外循環と超低体温法

今井康晴\* 高梨吉則\* 副島健市\*  
石原茂樹\* 高田勝美\*\* 椋棒由紀子\*\*  
白井希明\*\* 藤田昌雄\*\*

### 1. はじめに

開心術補助手段としての体外循環は、成人においては安全に施行されるようになり、さらに心筋保護法の進歩とともに手術死亡率は激減してきている。一方、乳幼児を対象とする開心術補助手段も次第に安定化しているが、いまだ、単純超低体温法、表面循環冷却併用超低体温法、体外循環法の3種類が改良されつつ応用されている。

乳幼児開心術は患児の手術時年齢で、手術成績のみでなく、疾患の重症度と疾患の種類が異なり、また腎機能の成熟度も異なる点が成人との相違であり、対象年齢によって補助手段も異なる場合がある。最近では対象年齢が12カ月以上（幼児）であれば、成人に準ずる体外循環法で、同様に安定した手術成績があげうるから、問題は12カ月未満の乳児期、ことに生後3カ月未満例と新生児期の開心術補助手段にしぼられた感がある。本稿では上記3方法についての現況と利害について述べる。

### 2. 単純超低体温法

人工心肺による体外循環法が発達した現在では、単純超低体温法の適応は乳児期開心術か幼児期での比較的単純な心奇形に限られた感がある。しかし開心術の歴史からみると、最初の開心術はLewisら<sup>1)</sup>による本法を用いた心房中隔欠損閉鎖例であ

り、その後岡村らの東北大学グループにより循環停止時間の延長が可能となり<sup>2)</sup>、またこれにより表面循環冷却併用の低体温法が進歩してきたことを考えると、乳幼児期開心術補助手段として重要なものである。この方法はその特殊性から現在では限られた一部の施設で施行されるに過ぎないが、安定した麻酔技術が伴えば良い成績をあげうる方法である。

現在主流を占めているのはエーテル麻酔であり、エーテルの低体温時における抗不整脈作用のために一般に用いられている。またエーテルは浅麻酔状態では交感神経刺激、深麻酔では迷走神経刺激作用があるので、自律神経遮断剤の使用が必要である。最近では横浜市大グループがこの方法を用いて良好な成績をあげているが<sup>3)</sup>、自律神経遮断の目的で triflupromazine, pethilorfan, hydroxizine, atropine を用い、塩化ケタミンで導入し、エーテル麻酔第Ⅲ期で表面冷却を開始する。表面冷却には岡村の開発した水槽を用い、患児を氷水に浸し冷却し、加温時には温水に漬けて加温する。目標とする低体温に達すると Young 液を大動脈基部に注入し心停止し、循環停止する。開心術終了後に塩化カルシウム、ノルアドレナリンよりなる心蘇生液を大動脈基部に注入し、パンピングまたは心マッサージにより心蘇生を行う。

循環停止の許容時間は理想的な麻酔状態で25℃で30分、20℃で60分、15℃で90分程度とされてい

\* 東京女子医大心研外科

\*\* 同上 麻酔科

る。

この方法の利点は人工心肺装置を用いないため、術中、術後の出血が少なく、輸血量がきめて少ないことである。もちろん血小板を含めた凝固因子がほぼ正常に保たれることが利点である、また VS D+PH 症例などで比較した場合、術前の呼吸不全の状態にかかわらず術後の呼吸管理の期間が短い点も特長的である。

他方、欠点としては麻酔法が熟練を要することで、不適当な麻酔では心蘇生できないこともあり、また重症例では目標とする低体温に達することが困難な場合もある点である。また循環停止法共通の欠点として術後脳障害発生の危険がある点も見逃がせない。脳障害の発生率は1~3%であるとされる。

### 3. 表面・循環冷却併用超低体温法

この併用法は単純超低体温法の問題点に対処する目的で、表面冷却と人工心肺を使用する循環加温という形で発達し、日笠らの京大グループによる方式がその後、森らにより世界的に紹介され普及した方法である<sup>4)</sup>。最近では表面冷却で30℃ぐらいまで冷却してから、短時間の人工心肺を用いた循環冷却で目標温度まで冷却し心内操作終了後に循環加温と表面加温をも併用する方式が一般的である。京大の方式では、前投薬にアトロピン、塩酸ベチジンを用い、ハロセン麻酔で cooling blanket、氷枕を用いて表面冷却し、クロルプロマジン 0.5mg/kg を徐々に点滴投与しながら、直腸温30℃まで冷却する。その後人工心肺で循環冷却し目標温度で循環停止を行い、心内操作終了後に循環加温と表面加温を併用する。また心内操作が予想以上に延長した時には、途中で循環冷却を施行して再び循環停止を行うこともできる。この方法による循環停止許容時間は、直腸温22℃で30分、18℃で60分、15℃で80分とされる。

われわれは現在、必要に応じて併用法を行っているが、麻酔はエーテルを使用し、前投薬はアトロピンのみを用い、メチールプレドニソロン (Solu-medrol) 30mg/kg を投与するのみで表面・循環冷却を施行している<sup>5)</sup>。

ハロセン麻酔で表面冷却を行う場合は、重症例では血圧維持が困難であり、クロルプロマジンの

投与が十分に行いえない場合がある<sup>6)</sup>。この点エーテル麻酔を行うと、血圧維持が容易で、しかも脈圧が十分に保たれる点が異なる。重症例で術後の死因の最大の原因として腎不全があり、冷却中の低血圧、脈圧狭小もその因子として考えられるので表面冷却中の循環動態も注意すべき点である。

併用法の一般的な利点としては、冷却中に心室細動などの致命的不整脈が起こった場合にも、循環冷却で対処できる点、循環停止時間が延長した場合でも、体外循環で対処できる点、心蘇生および低心拍出血量症候群があっても容易に再加温できる点がある。

欠点としては、体外循環を用いるために術後、術中の出血、術後の呼吸不全が問題となる点、表面冷却中および循環冷却を施行するまでのあいだ、非常に不安定な血行動態が続く点、単純な心奇形では体外循環法と比較して、体外循環時間が大差ない点である。

現況では、われわれは併用法の適応としてチアノーゼ性複雑心奇形で24カ月未満例に限定しており、主として完全大血管転位症の心房内血流転換術に使用している。術後の脳障害と循環停止許容時間は必ずしも相関せず、われわれの経験ではチアノーゼ性心疾患では脳障害の発生がほとんどみられないからである。

### 4. 体外循環法

体外循環法はもっとも普遍的に行われている方法で幼児期では特殊例を除いては、大部分の開心術の補助手段として用いられている。本法の利点は、麻酔法、冷却法などの特殊な熟練を要しない点で、成人の体外循環に準じて施行できることがあげられる。

人工肺としては現在気泡型と膜型肺が用られており、ポンプは大多数の施設でローラー型が用いられ、一部で拍動流も試みられている。後者の場合には大動脈送血カニューレのサイズが問題となるから、乳児期早期などでの適応には解剖学的に制約がある。一般的には軽度か中等度(30~28℃)の低体温灌流が多く、流量は低流量から高流量までさまざまである。

人工肺は乳幼児用でも円盤型が、溶血の少なさと、microemboli が少ない点で過去に用いられた

が、次第にシート型の気泡型人工肺に移行し、さらに現況では酸素化装置、貯血槽、熱交換器などを一体化して組み込んだ、ハードシェル型の気泡肺になってきている。他方では、血液と気相が混和する気泡型では血液成分の破壊や、蛋白変性が生ずるため液相と気相のあいだに膜を介在させる膜型人工肺が発達して乳幼児用にも臨床的に用いられている。気泡型人工肺と膜型肺の比較では、溶血、蛋白変性、microemboli、血小板減少の問題がある。われわれは disposable 人工肺になってから、藤倉の開発したシート型気泡肺、Landé-Edwards 膜型肺、Kolobow 膜型肺、Bentley BOS5 気泡肺の順に使用してきた。最初のシート型気泡肺から L-E 膜型肺に移行した時点では、溶血の減少と術後肺機能の改善が著明に認められ、肺内 surfactant の測定でも膜型肺が有意に高かった。その後 Kolobow 膜型肺を多数例に使用したが、血液充填量が段階的に次第に増加し、1,600~1,800ml と増加してきたので、再びハードシェル型気泡肺で単純化された回路を用いている。最後の膜型から気泡型の移行で溶血は著明に減少したが、術後呼吸管理も困難を認めなかった。結局、临床上の人工心肺による灌流時間は乳幼児症例では 60~120 分のあいだにあるので、膜型と気泡型の差が出にくいものと考えられる。したがって現況では気泡型 BOS5 を用いて充填量を 800~1,200ml で灌流している。しかし唯一の欠点は熱交換器の効率が Brown-Harrison 型より悪いので、加温時間が延長する傾向があることである。現在の人工肺のガス交換能はどの型式でも満足すべきものであり、臨床的には溶血の程度、血小板減少程度にむしろ重点がおかれるべきである。しかし前者の原因としては心腔内吸引の影響が強く、後者でも他の回路内吸着、動脈回路の filter 内吸着も大きな因子で、必ずしも人工肺のみで大きな差とならない。それゆえ、乳幼児用としても気泡型で満足できる。

動脈回路のポンプは乳幼児ではローラーポンプによる定常流が一般的であり、拍動流は動脈カニューレのサイズの問題で制約があり現状では臨床的に利用されていない。しかし拍動流灌流により、間質浮腫の減少が期待され、末梢循環の改善、尿量増加も考えられるので将来臨床的応用を試みる

価値がある。

## 5. 乳児用人工心肺装置

幼児の体外循環では、成人用のものを小型化したもので、ほぼ安全に施行できる。

体外循環時間も 180 分以内では何ら問題なく経過する。しかし乳児期早期、新生児期の体外循環では、未熟な腎機能のために体外循環中の水分負荷を多量の利尿で排泄させることが困難で、術後腎不全が救命率の改善を阻んでいる。われわれの経験では疾患の種類にかかわらず、乳児期早期では 60 分前後の体外循環時間では術後経過は順調であるが 120 分を超えるものは死亡率が高い。したがって現在の安全限界を拡げるために、乳児用体外循環装置を開発しつつあるので簡単に紹介する。現在の乳児期体外循環は技術的に熟練を要し、微妙なバランスを保ちつつ比較的短時間のうちに weaning をする必要がある。このため充填量を比較的多くせざるをえず、そのため 3kg 乳児の 240ml の血液量に対し、800~1,000ml の充填量で、体内血液量の 3~4 倍量の充填量となる。これは 60kg の成人で 4.5L の血液量に対し、1,800ml の充填量でも 40% に過ぎないと著明な対比を示している。

したがってわれわれは 500ml 程度の体外循環回路充填量で安全な循環を行うために micro-computer を用いて自動制御を行い、動脈ポンプは pulse motor を用いて拍動流を作り、動物実験を行っている。

動脈ポンプはコンピュータ制御によって 1 回拍出量、収縮期拡張期比(S-D比)の変更、動脈圧波または心電図同期も可能で、定常流、拍動流、補助循環も可能である<sup>7)</sup>。体外循環中の自動制御は reservoir の液面制御と、中心静脈圧による制御を行うが、前者は数個の光電管を使用して液面を検出して脱血、送血の制御を施行し、最低点に液面が下がると自動的に非常停止するようになっている。中心静脈圧は体外循環中一定値に保つように同様に制御される。体外循環移行時の初期ショックを防ぐために 5ml/kg 程度を送血してから徐々に脱血するようにプログラムして、ショックを起こしてから送血過多にならないようにしている。このような自動制御によってウサギ、イヌ、など

の小動物で安定した体外循環の移行、維持が  
 できるため将来同様のシステムの臨床応用が  
 果たされる。

## 6. 考 案

乳幼児の開心術補助手段として、未だに単純  
 低温法、併用法、体外循環法など種々の方法  
 が施行されている事実が、現況ではいずれの  
 方法も未だ問題点をかかえていることを示  
 している。

1歳以上の患者に対する開心術は、最近成  
 績が安定しているので、特殊な場合を除けば  
 通常の体外循環法で対処でき、3時間程度  
 までの灌流時間ならば術後管理もあまり困  
 難ではない。この理由は対象とする患者が、  
 1歳以上生存できるほどの比較的軽症例  
 であること、体重も新生児期の2倍以上  
 であること、腎機能が成熟していることな  
 どである。したがって本項では主として乳  
 児期開心術の問題点について考察したい。

前投薬および節遮断剤の問題では、本邦  
 で chlorpromazine 系の薬剤が汎用されて  
 いる。これは体外循環を controlled shock  
 と考えて末梢循環の維持に末梢血管の収縮  
 を防ぐ目的に主として用いられているが、  
 乳児期早期例の重症例では体外循環前に  
 血圧低下をきたし致命的な結果となるこ  
 とも多い。もちろん、この問題は灌流量  
 の問題、灌流圧の高低により臓器灌流、末  
 梢循環動態が異なるので一定の結論を出  
 しえない。われわれの経験ではシート型  
 気泡肺で4~5歳の幼児で70ml/kg/min  
 程度の灌流量であった頃は、90分以上の  
 体外循環時間で LCO、腎不全が多発した  
 時期があり、chlorpromazine と promethazine  
 各0.5mg/kgの投与で著明に改善された事  
 実があった。しかし重症乳児例では規定  
 量を投与することが困難なため、最近で  
 は methylprednisolone 30mg/kg を体外  
 循環開始直前に投与し、再加温時10~  
 20mg/kgを投与するのみとしている。

至適灌流量に関しては2.2~2.6L/min/m<sup>2</sup>  
 とされているが、新生児では240ml/kg/min、  
 3カ月児では210ml/kg/min、1歳児では  
 130ml/kg/min程度となる<sup>8)</sup>。したがって  
 幼児では安全に保ちうる流量であるが、  
 乳児期早期では高流量を維持するために、  
 溶血亢進、浮腫などの問題が起きる。現  
 況では、新生児、乳児期早期の重症例で、  
 術後の利尿により水分負荷が改善されな  
 い例では、

80ml/kg/minの低流量で少なくとも90分  
 以内の灌流時間で終了するように術式の改  
 良をすることが重要と考えている。同様に  
 90分以上の心内操作が予想される複雑心  
 奇形であれば、併用法による循環停止法  
 が有利である。ことに完全大血管転位症  
 で心房内血流転換を行う時には、循環停  
 止法が有利で安全である。高灌流量も理  
 想的に施行されればよいが、ときとして  
 体重の30%にも及ぶ浮腫をきたすことが  
 あり、腎不全となりやすい。

充填液は乳児の場合、800~1,000mlと  
 なるが、血液希釈率は20%程度とし、Ht  
 値は30~40%としている。7%重曹液  
 は新鮮 ACD 血 200ml に対して 5ml、  
 マンニトール 0.6~1.0g/kg、ヘパリン  
 は充填液 500ml に対し 10mg としてい  
 る。残量はハルトマン液で希釈する。充  
 填液の浸透圧は 350mOsmol/l 程度とな  
 るが、新生児の症例ではマンニトールを  
 少なくして300~320mOsmol/Lとして  
 いる。高浸透圧による脳出血を防止す  
 るためである。ヘパリン投与量は患者に  
 2mg/kgで、ACT300~400秒に保ってい  
 る。ACD 血が新鮮でないとき K 値が高  
 いので、充填液の電解質濃度を開始前と  
 途中で測定し K 値が 5mEq/L 以上であ  
 れば、乳児では体外循環回路にホロー  
 ファイバー型人工腎臓をセットして透析  
 するようにしている。

乳児の問題点として開心術後の出血傾  
 向がある。ヘパリン、プロタミンの ACT  
 による適正投与はもちろんであるが、血  
 小板減少は避けがたい。その対策として  
 cell saver を用い、充填前の血液から血  
 球層の直上部の血漿のみをバッグに保存  
 して体外循環終了後に投与する方法を行  
 ったが、非常に有効であった。また血小  
 板輸液も同様に有効である。最近では  
 fibrin paste を局所的に使用することで  
 目的を達している。乳児・新生児では  
 開心術後に血小板数が2~3万/mm<sup>3</sup>とな  
 り、1週間くらい低値にとどまるものも  
 多いため、今後とも動脈ラインフィルタ  
 ーの是非、血小板凝集抑制剤投与の検  
 討が必要である。

腎不全の予防は最大の問題である。幼  
 児例では、静脈脱血側で100ml/kg/min  
 以上の流量を保つことでほぼ予防でき  
 る。われわれは静脈脱血側もポンプを用  
 いるが、チアノーゼ性心疾患で気管支動  
 脈系の側副血行が多い例では、送血、脱  
 血の流量

差が著明であるため、脱血側の流量を全身灌流量としている。新生児、乳児期早期例では、体外循環中の水分負荷を如何に少なくするか、溶血を防止する、術後心機能を良くするの3点が重要である。このため、短時間低流量灌流につとめている。溶血に対する対策は幼児では問題が少なく、乳児では大動脈遮断による心内吸引量の減少、静脈脱血ポンプで陰圧を強くかけないように静脈回路に100ml容量の collapsible reservoir を入れるなどを行っている。溶血の程度は膜型肺(Kollobow)から BOS5 に変更してからやや減少を示した。ハプトグロビン投与は溶血の治療にきわめて有効であり、商品化がまつられる。

新生児、乳児期早期では開胸術後、尿浸透圧が血清のそれより 10~20mOsmol/L 程度高いのみで、濃縮能がきわめて悪い。よって水分負荷を排泄するのも困難であるし、溶質の排泄も少ない。それゆえ体外循環中に浮腫を生じないこと、溶血を少なくすることが腎不全予防に重要である。尿と血清の浸透圧差は乳児早期では10程度に数日間とどまり改善しない。しかし生後6カ月以降では術後急速に尿濃縮能が改善し、生後1年以上では成人と変わらない。したがって全例が腎不全に近い乳児期早期例では、腹膜灌流などの補助手段の改良が今後の問題であろう。

術後心不全の予防のため心筋保護の問題がある。われわれは VSD のような簡単な例では Young 液 3ml/kg, TOF 例などでは Young と GIK 液を40分ごとに大動脈基部に入れている。現況では St. Thomas 液など種々の保護液が使用されているが、生後3カ月未満例での心筋浮腫を防止する観点から更に検討が必要である。

術後の呼吸不全の予防は、乳児用人工呼吸器が完備された今日ではあまり問題とならない。われわれは部分体外循環時間を短縮し2~3分以内とし、左房ベントによる減圧でこの問題をほぼ解決している。

## 7. ま と め

現況では1歳以上の幼児では中等度低体温体外循環法で対処できる。新生児期・乳児期早期では、体外循環時間が120分程度必要な症例では併用法、60分程度では低流量体外循環がよいと思われる。麻酔法、前投薬は心内修復前の状態を可及的に良好に保つことが重要で、エーテル麻酔と methylprednisolone 投与の方法は現況では優れている。いずれにせよ、乳児期早期では開心術適応の厳密な選択と、心内修復時間の短縮により、不完全な開心術補助手段を補っているのが現況である。

## 文 献

- 1) Lewis, F. J., Taufic, M.: Closure of atrial septal defects with aid of hypothermia; Experimental accomplishments and report of one successful case. *Surgery* 33: 52, 1953.
- 2) Okamura, H.; Inhalation anesthesia for simple deep hypothermia induced by surface cooling. *Med. J. Osaka Univ.* 20: 29, 1969.
- 3) 佐藤 順, 松本昭彦, 近藤治郎, 熊田淳一, 河野光紀, 松村弘人: 超低温法による開心術. *手術* 31: 1259, 1977.
- 4) Hisaka, Y., Shirotani, H., Satomura, K., et al.; Open heart surgery with an aid of hypothermic anesthesia. *Arch. Jap. Chir.* 36: 495, 1967.
- 5) 高田勝美, 椋棒由紀子, 藤田昌雄, 菅原基晃, 高梨吉則, 秋山一也, 平山統一, 今井康晴, 浅野牧茂, 大久保千代次: 単純体温と微小循環. *日本バイオロロジー学会論文集*. 5: 163, 1982.
- 6) Imai, Y., Honda, M., Morikawa, T., Imamura, E., Konno, S.: Combined use of surface and perfusion hypothermia in intracardiac surgery in infants under one year of age. *Israel J. Med. Sci.* 11: 97, 1975.
- 7) 福井康裕, 土屋喜一, 佐藤勝彦, 今井康晴, 菅原基晃, 高梨吉則, 本多正知, 副島健市: 乳児用人工心肺装置の研究. *人工臓器* 10: 43, 1981.
- 8) Malm, J. R., Bowman, F. O., Jesse, M. J., Blumenthal, S.: Open heart surgery in the infant. *Am. J. Surg.* 119: 613, 1979.