

# 胸部大動脈瘤手術における脳脊髄保護のストラテジー

安田 慶秀\*

高齢社会の進展, 食生活の欧米化, 診断技術の進歩等により近年, 本邦においても大動脈解離および非解離性胸部大動脈瘤患者が増え, 積極的に手術が行われるようになってきている。手術成績は改善されつつあるが手術早期死亡率は急性A型大動脈解離で19%, また非解離性胸部大動脈瘤のうち弓部大動脈瘤および胸腹部大動脈瘤ではそれぞれ12%と18%である<sup>1)</sup>。胸部大動脈瘤手術の最大の課題は手術による直接死亡を無くすることと手術に伴う臓器合併症を減少させることにある。とりわけ弓部大動脈, 広範な下行大動脈瘤および胸腹部大動脈置換術における脳脊髄障害は患者のQOLを著しく低下させるものであり, その改善が望まれている。本稿では胸部大動脈瘤手術における脳脊髄保護について著者らの考え方を中心に報告する。

## 弓部大動脈瘤手術における脳保護

弓部大動脈瘤手術では大動脈遮断に伴う脳虚血防止の補助手段として, 超低体温・循環停止法, 逆行性脳灌流法, 選択的脳灌流法が行われている<sup>2-4)</sup>。弓部大動脈瘤手術死亡率は7-13%, 脳合併症発生頻度も4-20%と報告され手術成績向上のため多くの工夫が行われてきた<sup>2-16)</sup>。近年, 本邦を中心に弓部大動脈瘤手術成績は著しい向上が見られるが<sup>17, 18)</sup>、脳合併症を如何に防止するかは依然として大きな課題である。脳合併症の主な原因は, 1) 大動脈およびその分枝再建操作中の大動脈遮断に伴う脳虚血に対する不的確な脳保護, 2) 手術操作による粥腫塞栓症である<sup>19)</sup>。

1) 選択的脳灌流法による弓部大動脈瘤手術  
弓部大動脈瘤手術の体外循環は体循環と脳を分

離し, 脳を選択的に灌流して保護する選択的脳灌流法が用いられる。1975年, Griep<sup>3)</sup>は選択的脳灌流法を用いた弓部大動脈瘤手術で4例中3例の成功例を報告した。選択的脳灌流法の歴史は古いが手技が煩雑で手術成績も不良であったため最近まで, 特に欧米各国では普及しなかった。本法の最大の利点は時間的制限のないことであり, 灌流条件や塞栓防止法の確立とともに本邦の Kazui<sup>17)</sup>を中心に良好な成績が報告され, 国際的にも再評価されつつある。

表1に弓部大動脈瘤手術におけるの合併症発生の原因とそれを防止する戦略を示した確実な脳保護を行うために低体温, 低灌流選択的脳灌流法を行い, 弓部大動脈3分枝送血による選択的脳灌流法を用いることを原則としている。体外循環および術中操作に伴う術中塞栓を防止する対策として, 1) 送血部位の注意深い選択, 2) 全弓部大動脈置換術, 3) “isolation”法を確立してきた<sup>20, 21)</sup>。

表1 弓部大動脈瘤手術における脳合併症発生原因と防止のストラテジー

Inappropriate protection
➔ selective cerebral perfusion
Embolization (due to CPB/manipulation)
➔ careful selection of arterial inflow
➔ total arch replacement
➔ isolate cerebral circulation before aortic cross-clamping

表2 選択的脳灌流法 (北大循環器外科)

・独立したポンプ
・3分枝圧モニタ
・3分枝灌流
・流量 12±3 ml/kg/分
・灌流圧 51±12 mmHg

\*北海道大学大学院循環病態学講座循環器外科

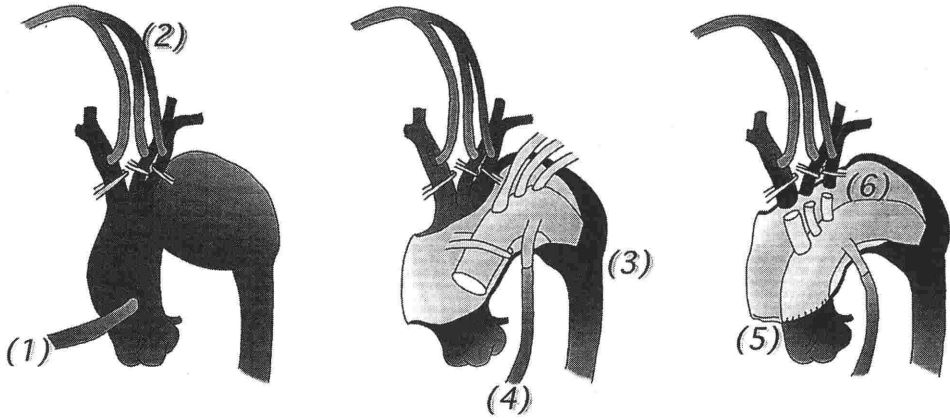


図1 4枝付き人工血管による弓部大動脈瘤手術

①体外循環で中心冷却，②冷却過程で選択的脳灌流法を確立，③体外循環停止，open distal anastomosis 法で末梢側グラフト吻合，④第4枝から順行性送血再開，⑤中枢側吻合，復温開始，心拍動を戻す，⑥左鎖骨下動脈から順次弓部分枝を再建。

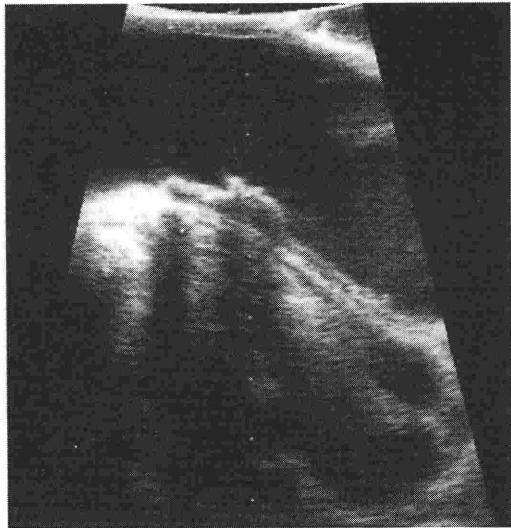
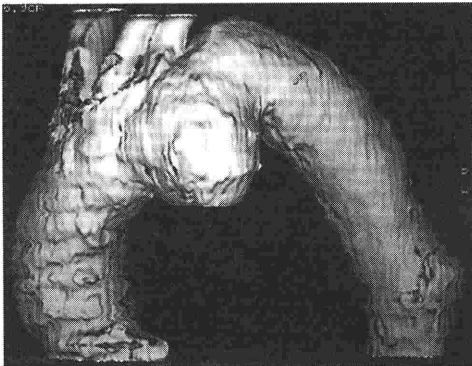


図2 弓部大動脈内の可動性粥腫

a) 手術術式

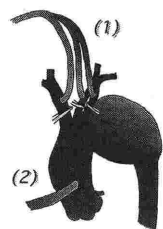
図1に4枝付き人工血管による弓部大動脈瘤の標準術式を示した。①体外循環にのせ中心冷却を開始する。②冷却過程で選択的脳灌流法を確立する。③20℃前後で体外循環を停止し，open distal anastomosis 法で末梢側グラフト吻合を行う。④吻合終了後，グラフト第4枝から順行性に送血を再開する。⑤次いで中枢側吻合を行い復温を開始，心拍動を戻す。⑥左鎖骨下動脈から順次弓部分枝

を再建する。

b) 選択的脳灌流法における“isolation technique”

胸部大動脈瘤の大半は粥状動脈硬化に起因するものであり，動脈壁に種々の程度の粥腫病変が見られる。著者らは体外循環確立に先立ち，動脈壁の直接エコー検査を行い瘤壁の性状を検索することをルーチンに行っている<sup>21)</sup>。この検査で大動脈内に浮遊する粥腫を認めた場合，体外循環動脈カニューレ装着前に，選択的脳灌流を分離して行う

June 1998 - December 2000, n=26



*Isolate cerebral circulation  
before ascending aortic  
cannulation/perfusion (n=6)*

*Indication;*

*Presence of protruding  
atheroma (grade>3, Katz)  
by direct echo scan*

図3 Isolation technique

大動脈操作による粥腫塞栓防止のため、全身体外循環に先立ち選択的脳灌流法を確立する。

表3 選択的脳灌流法の手術成績  
解離・非解離性弓部大動脈瘤  
April 1992-Des.2001

症例数	非解離 87	解離 57	全体 138
早期死亡 (<30日)	4 (4.9%)	0	4 (2.9%)
在院死亡	7 (8.6%)	0	7 (5.1%)
脳合併症	13 (16.0%)	13 (22.8%)	26 (18.8%)
一過性	9 (11.1%)	5 (8.8%)	14 (10.1%)
Focal	3 (3.7%)	2 (3.5%)	5 (3.6%)
Global	4 (4.9%)	5 (8.8%)	9 (6.5%)
永続性			
Focal	3 (3.7%)	6 (10.5%)	9 (6.5%) (うち4例は術前より;4.3%)

方法である。1998年6月から2000年12月までに手術を行った弓部大動脈瘤26例のうち、本法の適応となったのは6例であり、これらの症例ではいずれも脳合併症は回避された(図2, 3)。

### c) 手術成績

選択的脳灌流法による弓部大動脈瘤手術138例中、早期死亡を含む在院死亡7例(5.1%)であった。脳合併症は一過性のものが14例(10.1%)、永続性のもの9例(6.5%)に見られた。このうち2例は大動脈解離で術前から意識のない症例であり、これらを除いた術後脳合併症の発生率は5例(4.4%)であった。永続的な脳合併症を来した原因は、術中操作によって瘤内に浮動する粥腫が遊離し脳塞栓をきたしたものであった(表3)。

### 2) 超低体温・循環停止法

超低体温・循環停止法は弓部大動脈瘤手術の補助手段法として最初に一般化された補助手段法で

ある<sup>2,3)</sup>。本法の特長は、1) 特別な装置やテクニックを用いる必要が無く簡便であること、2) 術野に余分なカニューレ類が無く、無血視野を確保できること、3) 瘤内腔をよく観察でき、末梢側大動脈を鉗子で遮断せずに open distal anastomosis 法で吻合できることである。本法を用いた弓部大動脈瘤手術の主な報告では早期死亡15%前後、脳合併症の発生率は0-11%と報告され、虚血安全許容時間が短いのが欠点である<sup>2-8)</sup>。一般には、20℃の低温で虚血許容時間は30-45分とされており、さらに最近の実験結果から安全な虚血許容時間は30分以内が妥当とされている<sup>7)</sup>。通常鼓膜温や食道温で20℃以下になり、脳波が平坦となったところで循環停止とすることが多いが、脳の代謝を抑えるためには温度を確実に下げる必要があり、食道温で10-13℃、SJVO 95%必要との報告もある<sup>8)</sup>。循環停止中に頭蓋内温度上昇を防ぐためにアイスパック等で冷やすことも必要であり、さらに術後の血管収縮を防ぐため、注意深い循環管理も必要である<sup>5)</sup>。

### 3) 逆行性脳灌流法

超低体温・循環停止法による虚血胸時間の延長を計る方法として Ueda ら<sup>9)</sup>により報告された。上大静脈から低圧(15-25 mmHg)で送血して、脳を静脈側から逆行性に灌流する方法であり、本法による虚血許容時間は100分前後とされるが、早期死亡5-20%、脳合併症発生率は0-12.5%と報告されている。本法は、超低体温・循環停止法の利点を有すると同時に、分枝動脈入口部から逆行性に血液が流出するため分枝内の空気や粥腫などの塞栓物質をフラッシュアウトできること、逆行性灌流注の動脈・動脈シャント、動脈・静脈シャントを介して灌流液が流れることによって脳の温度上昇が妨げられることに利点があると思われる。逆行性に送られた血液が脳組織の代謝にされていることはまだ証明されておらず、また逆行性送血による脳浮腫が起こることが報告されている<sup>22-24)</sup>。

### 胸腹部大動脈瘤

胸腹部大動脈瘤は、広範な大動脈露出と肋間動脈と腹部臓器動脈の複雑な再建を必要とするため、現在でも手術リスクの高い疾患の一つである。大動脈遮断に伴う脊髄虚血障害の合併症は患者の

QOLを著しく損なうものであるが、これを防止する確実な方法はなく、また今日なお早期死亡率も高く外科治療上課題の多い疾患である。脊髄虚血と脊髄障害の発生に関係する主な要因は、1) 虚血の程度と持続時間、2) 脊髄血行再建の失敗、3) 再灌流障害、にある。胸腹部大動脈瘤手術に伴う脊髄障害を回避するためには脊髄血行解剖と病態生理の理解の上立った戦略を確立することが求められる<sup>25, 26)</sup>。

1) 脊髄の血行支配の特徴とその臨床的意義  
ヒト脊髄の血行支配は椎骨動脈系、肋間動脈系 (Adamkiewicz 動脈)、内腸骨動脈系が主に関係しその間には互いに交通 (側副血行路) が存在する。脊髄は縦走する1本の前脊髄動脈と2本の後脊髄動脈で栄養されるが、前脊髄動脈は後角の一部を除く灰白質と前脊索を栄養し、両者の交通は脊髄円錐を除き不良である。前脊髄動脈は、上端は椎骨動脈から分岐して末端まで連続して存在し、この間複数の脊髄根動脈 (radicular artery; RA) から血流を受ける。前脊髄動脈はT4レベルから細くなり、大脊髄根動脈が合流する部分から末梢で再び急に太くなる。この細い部分は narrow critical zone と呼ばれ、脊髄根動脈の間の watershed area に相当し、脊髄虚血をきたしやすい部分である。前脊髄動脈が合流する胸部・腰部では肋間・腰動脈がRAの起始部となる。このうち下部胸椎、上部腰椎レベルに存在し、もっとも太い動脈は大脊髄根動脈 (Adamkiewicz) と呼ばれ、下方からヘアピンカーブを描いてRAに合流し主に腰髄を栄養する。仙骨部では内腸骨動脈系の外側仙骨動脈が重要である。脊髄根動脈は解剖学的変異が多い。大脊髄根動脈はT7-L2から起始するが、全体の76%はT9-12から起始し、左右別では76%が左側から起始する。しかし発達の良い脊髄根動脈もあることが指摘されている。これらの脊髄根動脈は、肋間・腰動脈から直接起始する場合と、これらが脊柱管に入る前後で、構成しているネットワークを介して起始する場合があり、このネットワークは重要な側副血行路となっている<sup>27-30)</sup>。

以上の解剖学的特異性から、1) 前脊髄動脈を上行する血流は narrow critical zone に分布しづらい、2) 肋間・腰動脈相互の豊富なネットワークが存在するため、近くの動脈が再建されれば脊髄

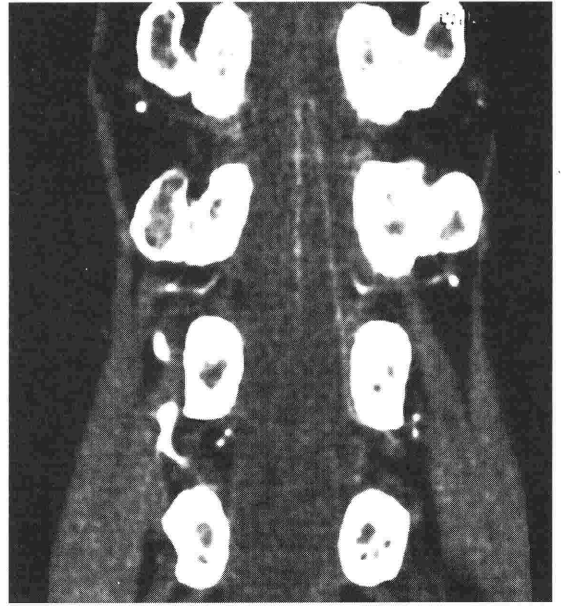
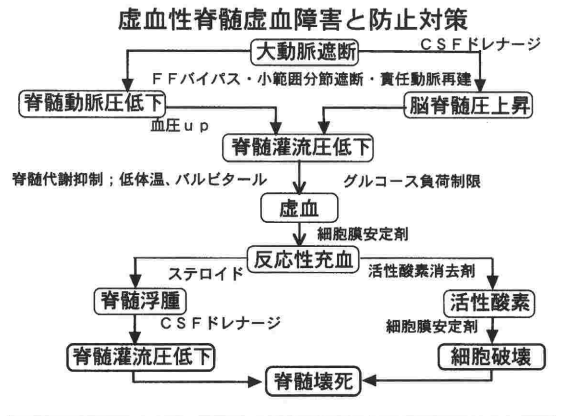


図4 Adamkiewicz 動脈

表4 胸腹部大動脈瘤手術における脊髄虚血障害と防止対策



根動脈が起始する肋間・腰動脈の再建が無くても脊髄は虚血に陥らない、3) 大脊髄根動脈の起始部にヴァリエーションがあること大動脈瘤患者では肋間・腰動脈の閉塞で側副血行路が発達して本来の解剖が変化している可能性も考えられるため、「必要にして十分な肋間動脈再建は如何に行うべきか」の問題は複雑である。最近 Adamkiewicz 動脈を CT あるいは MRI で直接同定することが試みられている<sup>31)</sup>。手術前に脊髄血行支配の責任動脈がわかっていたら選択的に再建でき、虚

血時間の短縮ができるため虚血・再灌流のリスクが少なくなることが期待できる。

2) 脊髄障害防止のストラテジー：

胸腹部大動脈瘤術後の対麻痺/不全対麻痺には手術直後から出現する即発性のものと遅発性のものがある。即発性脊髄麻痺は、術中脊髄の低灌流とそれに伴う低酸素による脊髄組織障害である。遅発性脊髄麻痺は術後1日から3週間後に出現するものであり、その発生機序は術後の再灌流に伴う脊髄の充血と活性酸素による組織障害、浮腫が原因と考えられている。脊髄浮腫によって脊髄血行がさらに悪くなる。表4に脊髄障害の発生機所とその防止対策を示した。大動脈胸腹部大動脈瘤手術に伴う脊髄障害は、基本的には弓部大動脈瘤手術における脳合併症と同一機序によって起きるものであり、大動脈遮断に伴う脊髄虚血と再灌流障害、粥腫等による塞栓が原因と考えられる。胸腹部大動脈瘤手術における精髄障害の合併症を防止するため、脊髄虚血モニター、補助手段、再建術式、薬物による脊髄保護、多くの基礎的、臨床的研究が行われている<sup>32-39)</sup>。脊髄虚血モニタ法はESPのほかに motor-evoked potential (MEP) 測定も行われている<sup>31)</sup>。

教室における脊髄障害防止のストラテジーの変遷を図5に示した。脊髄虚血時間の短縮、適切な血行再建、虚血・再灌流障害の防止がその要点である。具体的には、①ESPによる脊髄虚血モニタ、②脊髄有効血流維持のための補助手段、術中・術後の脳脊髄液ドレナージ (CSFD)、③低体温による脊髄代謝の抑制、④虚血時間を短縮する肋間動脈再建手技、⑤薬物による脊髄保護を行っている。

3) 手術術式

標準術式：教室における胸腹部大動脈瘤手術のスタンダードは、脊髄誘発電位 (ESP) モニタ、軽度低体温、F-Fバイパスによる部分体外循環法、spiral opening 法による開胸・経後腹膜到達法、選択的腹部臓器灌流である。大動脈遮断に伴う脊髄虚血障害を防止の要点は、①ESPによる脊髄虚血モニタ、②脊髄有効血流維持、③脊髄保護、④肋間動脈再建に分かれる。脊髄有効血流を維持するため、左鎖骨下動脈血流維持、F-Fバイパス、大動脈小範囲分節遮断 (2椎体以下)を行う。小範囲分節遮断不可能な例では超低体温・循環停

止法を用いる。Naloxonを投与、CSFDを行う。肋間動脈は、上位胸椎) Th4, 5で1対、下位 (Th8-12, L1) で2-3対再建する。腹部主要臓器は、体外循環による分枝動脈 (腹腔動脈、上腸間膜動脈、両側腎動脈)の選択的灌流を行う。灌流量は1分枝150 ml/分で、分枝の選択的灌流は教室で試作したムカデシヤント回路を用いている。

出血対策：胸腹部大動脈瘤手術では依然出血制御が大きな課題である。体外循環時間短縮・ヘパリン量の軽減のため、①閉鎖回路への移行、②手術時間短縮、③体外循環時間短縮に務める。具体的な工夫として、a) 肋間動脈再建後は、プロタミン投与してACT 250秒程度にし、閉鎖回路に移行する。b) 胸部グラフトと下肢へのグラフトが

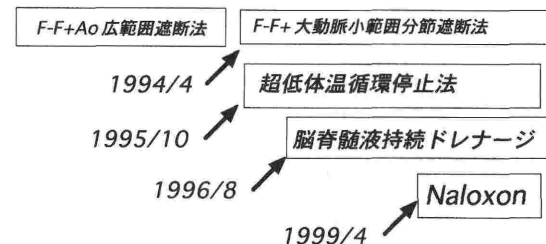


図5 胸腹部大動脈瘤手術における脊髄障害防止ストラテジーの変遷

表5 大動脈遮断における脊髄虚血防止のストラテジー

1. 脊髄虚血モニタ
2. 脊髄有効血流維持
①F-Fバイパス, ②鎖骨下動脈血流維持
③大動脈小範囲分節遮断
④脳脊髄液持続ドレナージ
3. 脊髄保護；①超低体温循環停止法, ②薬物
4. 手術手技；肋間動脈再建

表6 胸腹部大動脈瘤手術手技

Thoracoabdominal repair	
Multi-segmental sequential repair	
(each segment includes less than two pairs of segmental arteries)	
possible	impossible
F-F bypass	Profound hypothermia
Mild hypothermia	hypothermia
Separate grafts for vessel reconstruction	

ICA Reconstruction by Interposition Technique

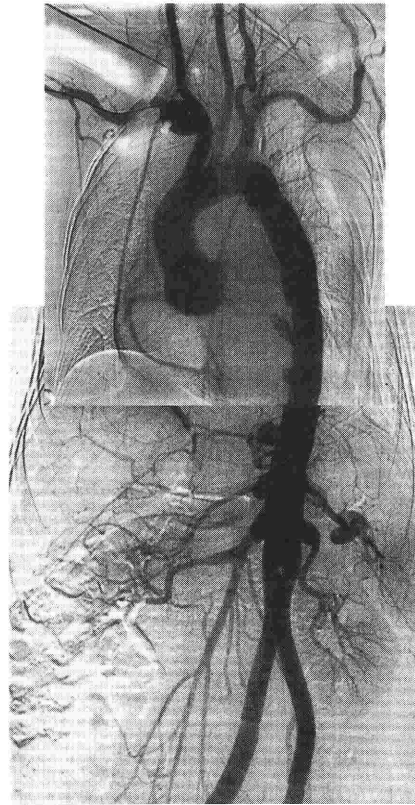
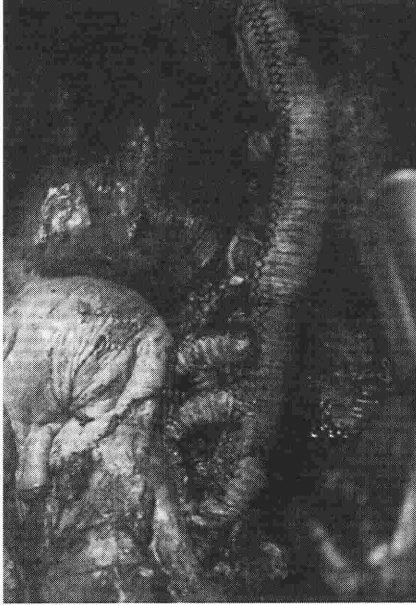


図6 胸腹部大動脈瘤 (Crawford II型) 手術

接続された時点で体外循環を止め、腹部臓器は、ムカデ回路を介し、自己圧で灌流する。c) 肋間動脈、腹部臓器動脈再建には分枝付きグラフトを用いる。吻合法は分枝をボタン状にくり抜き Carrel patch 法で縫合する。原則として graft inclusion 法は行わない。

4) 手術成績

胸部大動脈瘤あるいは胸腹部大動脈瘤の手術成績は、麻酔、補助手段、手術手技の進歩により、近年著しく向上したが、大動脈遮断に伴う脊髄障害発生は5-40%と報告され依然、解決されていない。Crawfordら<sup>16)</sup>の単純遮断による605例の成績は、早期死亡8.9%、脊髄障害11%、腎不全6.5%であった。Svenssonら<sup>17)</sup>は1509例中、早期死亡8%、脊髄障害16%と報告した。比較的多くの手術症例を扱っている Coseliら<sup>18)</sup>、Safiらのグループ<sup>19,20)</sup>、Kouchoukosら<sup>21)</sup>、Schepensら<sup>22)</sup>の比較的最近の報告でも早期ないし在院死亡率が3.6% - 10.5%、脊髄障害発生率は2.8% - 8.2%で、特に

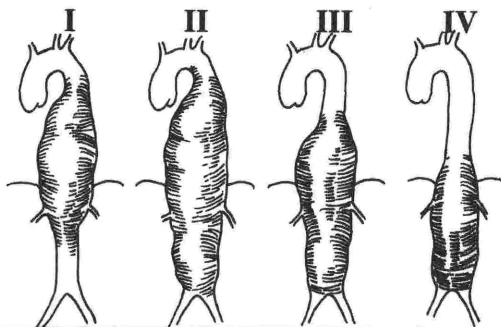
表7 胸腹部大動脈瘤手術症例 (1991.1~2000.12)

60 cases (male/female : 36/24)
Age : 60-12ys (26-77ys)
Etiology :
Dissection 28 (Marfan 8)
Non-dissectin 32
Ruptured 7
Mycotic 3
Crawford's Classification
I : 14, II : 18, III : 19 (V : 9), IV : 9

広範型の Crawford I 型、II 型で脊髄障害発生が多いことが報告されている。

著者らの施設で1991年から2000年12月までの10年間で手術を施行した胸腹部大動脈瘤症例は60例である。内訳は大動脈解離28例、非解離性胸腹部大動脈瘤32例である。Crawford分類では、II型、III型がそれぞれ18例、19例であった(表7)。全体の手術成績は、病院死亡8%、脊髄障害15%であった。1994年以降、術式の工夫と背傷保護の戦





					-94.11	94.12-	Total
DAA	6	16	4	2	11	17	28
non-DAA	8	2	15	7	9	23	32
TOTAL	14	18	19	9	20	40	60
paraplegia/ paraparesis	4 (29%)	3 (17%)	2 (11%)	0	7(35%)	2(5%)	9(15%)
Hospital deaths	2 (14%)	0	2 (11%)	1 (10%)	4(20%)	1(3%)	5(8%)

表 8 胸腹部大動脈瘤手術成績

略を確立した後の成績は向上し，病院死亡3%，  
脊髄障害は3%に改善された（表8）。

おわりに

胸部大動脈瘤手術に伴う脳，脊髄合併症防止の  
治療戦略について，著者らが行っている方法を中  
心に述べた。本稿は，第6回日本心臓血管麻酔学  
会教育講演で発表されたものである。

文 献

- 1) Yasuda K, Ayabe H, Ide H : Thoracic and cardiovascular surgery in Japan during 1999. Annual report by The Japanese Association for Thoracic Surgery. 日胸外会誌 49 : 528-541, 2001
- 2) Ergin MA, Galla JD, Lansman SL, et al : Hypothermic circulatory arrest in operations on the thoracic aorta. Determinants of operative mortality and neurologic outcome. J Thorac Cardiovasc Surg 107 : 788-797 ; discussion 797-799, 1994
- 3) Griep RB, Stinson EB, Hollingsworth JF, et al : Prosthetic replacement of the aortic arch. J Thorac Cardiovasc Surg 70 : 1051-3, 1975
- 4) Ueda Y, Miki S, Kusuha K, et al : Surgical treatment of aneurysm or dissection involving the ascending aorta and aortic arch, utilizing circulatory arrest and retrograde cerebral perfusion. J Cardiovasc Surg 31 : 553-558, 1990
- 5) Reich DL, Uysal S, Sliwinski M, et al : Neuropsychological outcome following deep hypothermic circulatory arrest in adults. J Thorac Cardiovasc Surg 117 : 156-163, 1999
- 6) Svensson LG, Crawford ES, Hess KR, et al : Deep hypothermia with circulatory arrest. Determinants of stroke

- and early mortality in 656 patients. J Thorac Cardiovasc Surg 106 : 19-28, 1993
- 7) McCullough JN, Zhang N, Reich D, et al : Cerebral metabolic suppression during circulatory arrest in humans. Ann Thorac Surg 67 : 1895-1899, 1999
- 8) Mezrow CK, Sadeghi AM, Gandsas A, et al : Cerebral blood flow and metabolism in hypothermic circulatory arrest. Ann Thorac Surg 54 : 609-616, 1992
- 9) Ergin MA, Galla JD, Lansman SL, et al : Hypothermic circulatory arrest in operations on the thoracic aorta : determinants of operative mortality and neurologic outcome. J Thorac Cardiovasc Surg 107 : 788-797, 1994
- 10) Borst HG, Buehner B, Jurmann M : Tactics and techniques of aortic arch replacement. J Cardiac Surg 9 : 538-547, 1994
- 11) Coselli JS, LeMaire SA : Experience with retrograde cerebral perfusion during proximal aortic surgery in 290 patients. J Card Surg 12(Suppl) : 322-325, 1997
- 12) Safi HJ, Letsou GV, Iliopoulos DC, et al : Asimacopoulos and J.C. Baldwin, Impact of retrograde cerebral perfusion on ascending aortic and arch aneurysm repair. Ann Thorac Surg 63 : 1601-1607, 1997
- 13) Bacht J, Guilmet D, Goudot B, et al : Antegrade cerebral perfusion with cold blood : A 13-year experience. Ann Thor Surg 67 : 1874-1878, 1999
- 14) Ueda Y, Okita Y, Aomi S, et al : Retrograde cerebral perfusion for aortic arch surgery : analysis of risk factors. Ann Thorac Surg 67 : 1879-1882, 1999
- 15) Hayashi J, Eguchi S, Yasuda K, et al : Aortic arch operation using selective cerebral perfusion for nondissecting thoracic aneurysm. Ann Thorac Surg 63 : 88-92, 1997
- 16) Ohmi M, Tabayashi K, Hata M, et al : Brain damage after aortic arch repair using selective cerebral perfusion. Ann Thorac Surg 66 : 1250-1253, 1998
- 17) Kazui T, Washiyama N, Muhammad BA, et al : Improved

- results of atherosclerotic aneurysm surgery using a refined technique. *J Thorac Cardiovasc Surg* 121 : 491-499, 2000
- 18) Okita Y, Minatoya K, Tagusari O : Prospective comparative study of brain protection in total aortic arch replacement : deep hypothermic circulatory arrest with retrograde cerebral perfusion or selective antegrade cerebral perfusion. *Ann Thorac Surg* 72 : 72-79, 2002
  - 19) Ergin MA, Uysal S, Reich DL, et al : Temporary neurological dysfunction after deep hypothermic circulatory arrest : a clinical marker of long-term functional deficit. *Ann Thorac Surg* 67 : 1887-1890, 1999
  - 20) Shiiya N, Kunihara T, Imamura M, et al : Surgical management of atherosclerotic aortic arch aneurysms using selective cerebral perfusion : 7-year experience in 52 patients. *Eur J Cardiothorac Surg* 17 : 266-271, 2000
  - 21) Shiiya N, Kunihara T, Kamikubo Y, et al : Isolation technique for stroke prevention in patients with a mobile atheroma. *Ann Thorac Surg* 72 : 1401-1402, 2001
  - 22) Boeckxstans CJ, Flameng WJ : Retrograde cerebral perfusion does not protect the brain in non-human primates. *Ann Thorac Surg* 60 : 319-328, 1995
  - 23) Ye J, Yang L, Del Bigio MR, et al : Retrograde cerebral perfusion provides limited distribution of blood to the brain : A study in pigs. *J Thorac Cardiovasc Surg* 114 : 660-665, 1997
  - 24) Juvonen T, Weisz DJ, Wolfe D, et al : Can retrograde perfusion mitigate cerebral injury following particulate embolization? A study in a chronic porcine model. *Ann Thorac Surg* 66 : 38-50, 1998
  - 25) Wan IYP, Angelini GD, Bryan AJ, et al : Prevention of spinal cord ischemia during descending thoracic and thoracoabdominal aortic surgery. *Eur J Cardiothorac Surg* 19 : 203-213, 2001
  - 26) 椎谷紀彦, 安田慶秀 : 胸腹部大動脈瘤の手術. *胸部外科* 50 : 133-143, 1997
  - 27) Dommissie GF : The blood supply of the spinal cord : a critical vascular zone in spinal surgery. *J Bone Joint Surg Br* 56 : 225-235, 1974
  - 28) Svensson LG, Klepp P, Hinder RA : Spinal cord anatomy of the baboon-comparison with man and implications for spinal cord blood flow during thoracic aortic cross-clamping. *S Afr J Surg* 24 : 32-34, 1986
  - 29) Kieffer E, Richard T, Chiras J, et al : Preoperative spinal cord arterio-graphy in aneurysmal disease of the descending thoracic and thoracoabdominal aorta : preliminary results in 45 patients. *Ann Vasc Surg* 3 : 34-46, 1989
  - 30) Williams GM, Perler BA, Burdick JF, et al : Angiographic localization of spinal cord blood supply and its relationship to postoperative paraplegia. *J Vasc Surg* 13 : 23, 1991
  - 31) Yamada N, Okita Y, Minatoya K, et al : Preoperative demonstration of the Adamkiewicz artery by magnetic resonance angiography in patients with descending or thoracoabdominal aortic aneurysms. *Eur J Cardio-Thorac Surg* 18 : 104-111, 2000
  - 32) McCullough JL, Hollier LH, Nugent N : Paraplegia after thoracic aortic occlusion : influence of cerebrospinal fluid drainage. Experimental and early clinical results. *J Vasc Surg* 7 : 153-160, 1988
  - 33) Huynh TT, Miller CC 3rd, Saf HJ : Delayed onset of neurologic deficit : significance and management. *Semin Vasc Surg* 13(4) : 340-344, 2000
  - 34) Guerit JM, Witdoeck C, Verhelst R, et al : Sensitivity, specificity, and surgical impact of somatosensory evoked potentials in aorta surgery. *Ann Thorac Surg* 67 : 1943-1946, 1999
  - 35) Galla JD, Ergin MA, Lansman SL, et al : Use of somatosensory evoked potentials for thoracic and thoracoabdominal aortic resections. *Ann Thorac Surg* 67 : 1947-1952, 1999
  - 36) Acher CW, Wynn MM, Archibald J : Naloxone and spinal fluid drainage as adjuncts in the surgical treatment of thoracoabdominal and thoracic aneurysms. *Surgery* 108 : 755-761, 1990
  - 37) Acher CW, Wynn MM, Hoch JR, et al : Combined use of cerebral spinal fluid drainage and naloxone reduces the risk of paraplegia in thoracoabdominal aneurysm repair. *J Vasc Surg* 19 : 236-246, 1994
  - 38) Ling E, Arellano R : Systematic overview of the evidence supporting the use of cerebrospinal fluid drainage in thoracoabdominal aneurysm surgery for prevention of paraplegia. *Anesthesiology* 93 : 1115-1122, 2000
  - 39) Jacobs MJ, Meylaerts SA, de Haan P, et al : Strategies to prevent neurologic deficit based on motor-evoked potentials in type I and II thoracoabdominal aortic aneurysm repair. *J Vasc Surg* 29 : 48-59, 1999
  - 40) Crawford ES, Crawford JL, Safi HJ, et al : Thoracoabdominal aortic aneurysms : preoperative and intraoperative factors determining immediate and long-term results of operations in 605 patients. *J Vasc Surg* 3 : 389-404, 1986
  - 41) Svensson LG, Crawford ES, Hess KR, et al : Experience with 1509 patients undergoing thoracoabdominal aortic operations. *J Vasc Surg* 17 : 357-368, 1993
  - 42) Coselli JS, LeMaire SA, Miller CC 3rd, et al : Mortality and paraplegia after thoracoabdominal aortic aneurysm repair : a risk factor analysis. *Ann Thorac Surg* 69 : 409-414, 2000
  - 43) LeMaire SA, Miller CC 3rd, Conklin LD, et al : A new predictive model for adverse outcomes after elective thoracoabdominal aortic aneurysm repair. *Ann Thorac Surg* 71 : 1233-1238, 2001
  - 44) Estrera AL, Miller CC 3rd, HuynhTT, et al : Neurologic outcome after thoracic and thoracoabdominal aortic aneurysm repair. *Ann Thorac Surg* 72 : 1225-1231, 2001
  - 45) Kouchoukos NT, Masetti P, Rokkas CK, et al : Safety and efficacy of hypothermic cardiopulmonary bypass and circulatory arrest for operations on the descending thoracic and thoracoabdominal aorta. *Ann Thorac Surg* 72 : 699-708, 2001
  - 46) Schepens MA, Vermeulen FE, Morshuis WJ, et al : Impact of left heart bypass on the results of thoracoabdominal aortic aneurysm repair. *Ann Thorac Surg* 67 : 1963-1980, 1999