

condition.<sup>3</sup> In my experience, in-hospital mortality is 1.5%—a single mortality in a recent personal series of 65 consecutive patients. As Dr. Bachet first pointed out, however, surgical outcome cannot be expected to be as satisfactory when young, less-experienced surgeons on-call at midnight or on the weekends are asked to deal with cases coming at these times.<sup>4</sup> It is thus reasonable to assume that the impact of such factors on surgical outcome is not reflected in published data.

If we agree that preoperative conditions are comparable among published series, the factor left explaining these gaps in outcome is case-volume-related—the experience and expertise of surgeons. This means that surgical risk must be evaluated considering relatively unexplored factors such as type and location and case volume of a given institute and individual surgeons' experience to gain greater insight into why many institutions have been unable to achieve the required success in surgical management of acute type-A aortic dissection.

#### REFERENCES

1. Trimarchi S, Nienaber CA, Rampoldi V, Myrmet T, Suzuki T, Mehta RH, et al. Contemporary results of surgery in acute type A aortic dissection: The International Registry of Acute Aortic Dissection experience. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2005; 129: 112–22.
2. Kazui T, Wada H, Fujita H; Japanese Association for Thoracic Surgery Committee of Science. Thoracic and cardiovascular surgery in Japan during 2003: Annual report by the Japanese Association for Thoracic Surgery. *Jpn J Thorac Cardiovasc Surg* 2005; 53: 517–36.
3. Westaby S, Saito S, Katsumata T. Acute type A dissection: Conservative methods provide consistently low mortality. *Ann Thorac Surg* 2002; 73: 707–13.
4. Bachet J. Acute type A aortic dissection: Can we dramatically reduce the surgical mortality? *Ann Thorac Surg* 2002; 73: 701–3.

## 2. 胸部大動脈瘤外科治療の最近の成績

浜松医科大学第1外科教授 数井暉久  
同 第1外科 鷺山直己

**key words** thoracic aortic aneurysm, cerebral protection, spinal cord protection, paraplegia, extended aortic replacement, stent-graft

近年、胸部大動脈瘤に対する手術成績は良好なものになってきたが、置換部位によりその手術成績は大きく異なっている。2003年日本胸部外科学会の集計による本邦での胸部大動脈瘤に対する待機手術の部位別の手術関連死亡率は上行大動脈置換1.8%、上行～弓部大動脈置換5.8%、弓部～下行大動脈置換8.0%、下行大動脈置換3.6%、胸腹部大動脈置換13.4%であった<sup>1)</sup>。手術成績が向上したとはいっても依然として弓部大動脈置換、胸腹部大動脈置換の病院死亡率が高く、また弓部大動脈置換では脳梗塞、胸腹部大動脈置換では脊髄梗塞による術後対麻痺がまだ完全には解決されない問題として残されている。大動脈基部に対する手術は自己大動脈弁温存術式が注目され、その遠隔期成績も報告されるようになってきた。また広範囲大動脈置換を要する症例に対しての一期的手術の報告もみられるようになってきた。ステントグラフト治療の目覚ましい進歩も認め、近年、大動脈外科治療体系の一つの手段として期待されるようになった。

以上のことを踏まえ、体外循環時の動脈送血部位、大動脈基部再建法、弓部大動脈手術における脳保護法、胸腹部大動脈手術における脊髄保護法、急性大動脈解離、広範大動脈置換、ステントグラ

フトの項目に分け、最近の進歩について述べたい。

### A. 体外循環時の動脈送血部位

体外循環を確立するにあたり、胸部大動脈瘤症例では、全身の動脈硬化が強い可能性を念頭において動脈送血部位を選択しなければならない。上行大動脈の性状不良な場合には上行大動脈送血は好ましくなく、大腿動脈からの送血では逆行性に塞栓物質が吹き上がり脳梗塞発生に関与していることが指摘されている。近年、送血部位として右腋窩動脈の有用性が報告されるようになった。Strauchは右腋窩動脈送血が上行大動脈および弓部大動脈手術において選択的脳灌流法が容易に行うことができ、脳塞栓症の予防の点でも有用であると指摘しており<sup>2)</sup>、直接カニュレーションでの成功率は95%で、カニュレーションに伴う合併症として上腕神経叢損傷(0.7%)、局所的解離(1%)を認めたことも報告している。Sabikは右腋窩動脈送血を行った392例を検討した結果、術後合併症を低下させることが可能であったと報告している<sup>3)</sup>。なお、直接カニュレーションするよりも人工血管を吻合してからカニュレーションすることを推奨している。Svenssonは1352例の循環停止

法を併用した手術を検討し、右腋窩動脈送血症例での脳梗塞発生率の低下を報告している<sup>4)</sup>。また以前から急性A型大動脈解離においても右腋窩動脈送血の有用性が報告されているが、一方、Fuscoは急性A型大動脈解離において大腿動脈送血は多くの場合安全であり、臓器灌流不全は2.5%にすぎなかったと報告している<sup>5)</sup>。

## B. 大動脈基部再建法

composite valve conduitを用いた大動脈基部置換術は、手術成績だけでなくその遠隔成績も良好であり確立された術式となっている<sup>6)</sup>。一方、近年、reimplantation法あるいはremodeling法による自己弁温存術式の中期成績も報告されるようになった。Betheaは65例の自己弁温存術式を検討し、reimplantation法が弁輪拡大を防止し、大動脈弁逆流の発生頻度を低下させることを報告している<sup>7)</sup>。またreimplantation法の際には、大動脈弁の動きをより自然に近いものとし弁のストレスを軽減する目的でDePaulis Valsalva graftが考案されている<sup>8)</sup>。DePaulis Valsalva graftは全ての基部再建において緊張のかからない冠動脈再建が可能であり、優れた人工血管であることが報告されている<sup>9)</sup>。Marfan症候群に対しても自己弁温存術式を選択すべきは議論のあるところであるが、症例を選択してreimplantation法を用いることで良好な成績が期待できることが報告されている<sup>10,11)</sup>。

また当科では初回にcomposite graft replacementが施行されたMarfan症候群において遠隔期に大動脈基部または弓部大動脈に対して再手術を要した14例を検討した結果、冠動脈吻合部の合併症を予防するためには冠動脈ボタンを大きくしないこと、またDeBakey I型大動脈解離症例では弓部大動脈全置換を併施することが望ましいと報告した<sup>12)</sup>。

## C. 脳保護法

弓部大動脈手術における脳保護法が確立してきたことは外科治療成績の向上に大きな貢献をもたらしたといえる。欧米では以前から脳保護法としてその簡便性から超低体温循環停止法あるいは超低体温併用の逆行性脳灌流法を用いる施設が多かった。しかし、最近になり逆行性脳灌流法はむしろ神経心理学的検討では障害を起こす可能性が高いことが指摘され<sup>13)</sup>、循環停止時間が30分以上の症例には脳神経障害の発生頻度が高く、脳保護時間が長時間に及ぶ場合にはいずれの方法も好ましくないことが認識されるようになった。一方、最近では選択的脳灌流法の有用性が広く世界に認められるようになってきた<sup>14,15)</sup>。選択的脳灌流の有用性は日本において実験のおよび臨床的に実証されてきているが、近年海外からその有用性を述べた文献が多数みられている。Kouchoukosは脳の循環停止を短時間とし、右腋窩動脈からの一側脳灌流補助下に弓部分枝再建を先行する弓部全置換術を推奨している<sup>16)</sup>。Neriはcerebral autoregulationの観点から他の脳保護法と比較して選択的脳灌流法が優れていることを報告している<sup>17)</sup>。Strauchは実験的検討において、脳血流、酸素消費量、頭蓋内圧の点で選択的脳灌流の有用性を再確認しており<sup>18)</sup>、また臨床的にも低体温と選択的脳灌流の併用が術後脳障害を防止する上で有用であり、特に腋窩動脈送血を推奨している<sup>19)</sup>。Di Eusanoはmulticenter studyを行い、選択的脳灌流補助下に弓部大動脈手術を施行した588症例の在院死亡率8.7%、permanent neurological dysfunction 3.8%であり、選択的脳灌流法が優れた脳保護法であることを報告した<sup>20)</sup>。当科でも330例の選択的脳灌流法を用いた手術症例を検討しpermanent/temporary neurological dysfunction 4.2%/2.4%で、特に複雑で時間を要する手術手技の際には有益であることを報告した<sup>21)</sup>。

また選択的脳灌流法の際に体温をどの程度下げるべきかは依然として議論の残るところである。Strauchは実験的検討を行い、超低体温併用選択的脳灌流法を施行したほうが術後のbehavioral scoreが良好であったことを報告している<sup>22)</sup>。術後のQOL (quality of life) の観点からの検討も行われており、Immerは脳保護を要した胸部大動脈手術症例に対してSF36 (36 Health Survey Questionnaire) を用いた術後QOLの評価を行い、20分以上を要した超低体温循環停止法でQOL低下を認め、特に35分以上を要した症例で顕著であったが、選択的脳灌流法を用いた症例では良好であったと報告している<sup>23)</sup>。

また弓部大動脈置換術の手術手技に関しては、本邦では以前から分枝付グラフトを用いたseparated graft techniqueが使用されてきたが、欧米においても近年その有用性に注目し使用されるようになってきた<sup>24)</sup>。en bloc techniqueと比較し、再建分枝の止血が容易で、また弓部分枝分岐部に多発する動脈硬化性病変を完全に切除できるため脳塞栓防止の点からも有利と考えられている。Di Euanioは選択的脳保護法を補助手段として用いて、230例のseparated graft technique例と122例のen bloc technique例とを比較検討し、separated graft techniqueはen bloc techniqueに比較して優るとも劣らない結果であり、その有用性を示唆している<sup>25)</sup>。またSpielvogelは独自の三分枝人工血管を作成してその有用性を報告している<sup>26)</sup>。Kouchoukosも最近ではarch first techniqueにおいて4分枝付人工血管を使用していると報告している。

急性A型大動脈解離に対する上行～弓部大動脈置換術を施行する場合でも脳保護法として選択的脳保護法を用いることにより、良好な手術成績が得られることが報告されている<sup>27,28)</sup>。当科では選択された症例に対して積極的にseparated graft techniqueによる上行～弓部大動脈全置換

術を施行してきたが、早期および遠隔期成績は良好であり、弓部大動脈に対する遠隔期再手術を減少させ、かつ下行大動脈以下の再手術を容易にすることを報告した<sup>29)</sup>。

#### D. 脊髄保護法

胸腹部大動脈置換手術における術後対麻痺の予防は現在の大動脈外科において最大の課題といってもよい。術後対麻痺の原因としては脊髄虚血に由来するが、その脊髄虚血の誘因は多元的であることから、単一の方法にて予防することが可能ではなく、種々の方法が併用されており、また新しい試みもなされているが、いまだ確立された予防法がないのが現状である。脊髄虚血の対策として現在では、術前のAdamkiewicz動脈の同定、遠位大動脈灌流、低体温、肋間動脈再建、脳脊髄液ドレナージ、神経保護薬の使用、術中MEP (motor-evoked potential) モニター等が用いられている。術中の脊髄虚血モニターとして、MEP測定がSEP (somatosensory evoked potential) に比較してより有用であり、広く使用されるようになってきたが、最近false-negativeの症例があることが指摘されている。Kakinohanaは灰白質に広範な梗塞をきたしても $\alpha$  motor neuronが正常に保たれている場合にはfalse-negativeになり得ることを実験的に明らかにしている<sup>30)</sup>。

神経保護薬としてShiはNa/Caチャンネル遮断薬であるNS-7の脊髄保護効果を実験的に立証し報告している<sup>31)</sup>。Kiziltepeは赤ワインに含まれるポリフェノールであるresveratrolの脊髄保護効果を過酸化脂質であるmalondialdehydeの抑制の観点から報告している<sup>32)</sup>。Toumpoulisらはischemic preconditioningの有用性を実験的に再検討し、45分虚血に対しても有用であったと報告している<sup>33)</sup>。Isbirはischemic preconditioningとnicotinamide投与を併用することで脊髄保護

効果が上がることを実験的に検討している<sup>34)</sup>。

Coselliは遠位大動脈灌流の必要性をretrospectiveに検討し、下行大動脈置換において左心バイパスを補助手断として用いた群を、clamp and sewで施行した群と比較し、脊髄傷害の頻度はほぼ同様であり、左心バイパスが術後対麻痺減少に寄与していないことを報告している<sup>35)</sup>。しかし、広範大動脈置換を要するCrawford II型胸腹部大動脈瘤に対する手術においては、遠位大動脈灌流が脊髄虚血の予防に有利であることは指摘されている。Kouchoukosは超低体温循環停止法による192例の下行大動脈および胸腹部大動脈置換症例を検討し、早期対麻痺発生はCrawford I型で1/36、II型で0/42、III型で2/31であり、その脊髄保護効果の有意性を報告している<sup>36)</sup>。

胸腹部大動脈瘤術後の脊髄障害による対麻痺はAdamkiewicz動脈の再建の問題だけでなく、術中低血圧、側副血行路の問題等の複数の要因が指摘されている。StrauchはAdamkiewicz動脈だけでなく腰動脈、仙骨正中動脈、鎖骨下動脈の血流の重要性を実験的に検討し報告している<sup>37)</sup>。Biglioliは剖検51例を検討し、全ての症例で前脊髄動脈の連続性は保たれており、70.5%の症例で腰動脈からAdamkiewicz動脈が分岐していたと報告している<sup>38)</sup>。またステントグラフト治療における対麻痺の頻度は、手術による人工血管置換と比較し低いことが報告され、周術期の低血圧(MAP<70mmHg)だけがステントグラフト後対麻痺の危険因子であったと報告している<sup>39)</sup>。

## E. 急性大動脈解離

近年、いくつかの施設から良好な治療成績が報告されているが、The International Registry of Acute Aortic Dissection Experienceの検討では、急性A型大動脈解離に対する手術成績は在院死亡率25.1%で高率であり、循環動態が不安定であ

った群では31.4%であったと依然としてその治療成績は不良であると報告している<sup>40)</sup>。

80歳以上の超高齢者における急性A型大動脈解離の手術成績はきわめて不良で年齢は手術適応を決定する一つの因子になり得ることが以前報告されていたが、近年は高齢者に対しても良好な手術成績が散見されている。Eusanioは多施設共同研究において、脳保護として選択的脳灌流法と使用すると75歳以上の急性A型大動脈解離症例であっても手術成績が変わらないことを報告した<sup>41)</sup>。またChiappiniは70歳以上の症例の手術成績は、70歳以下と同様であったことを報告している<sup>42)</sup>。

Takaharaは弓部大動脈に内膜亀裂を有する症例に弓部大動脈全置換術を行う際にelephant trunk法を用いて遠位側大動脈吻合を施行し、下行大動脈の偽腔閉塞率は73.5%であったことを報告している<sup>43)</sup>。一方Mizunoは急性A型大動脈解離でstented elephant trunkを施行した9例を検討し、下行大動脈の偽腔閉塞には寄与したが2例に術後対麻痺をきたしたと報告している<sup>44)</sup>。

## F. 広範大動脈置換術

広範胸部大動脈瘤に対する手術手技のアプローチに関しては従来より議論の多いところである。

広範大動脈置換での二次的アプローチにおけるelephant trunk techniqueの有用性も再確認され、Svenssonらは142例のelephant trunk techniqueを検討し、二次的な下行大動脈または胸腹部大動脈置換またはステントグラフト治療に有用かつ安全であったと報告している<sup>45)</sup>。Safiは321例のelephant trunk techniqueを検討し、二次的手術に有効であり、手術完遂後の5年生存率は71%であったと報告している<sup>46)</sup>。

近年、一次的に胸部大動脈を広範囲に置換し、良好な成績が報告されるようになった。以前、胸

骨正中切開から pull-through 法での一次的置換術を施行し、二次的手術での最終的な治療成績と相違ないものであったとの報告もみられたが、Kouchoukos は両側前方開胸アプローチ (clamshell) から弓部分枝を先に再建する arch-first technique を用いた一次的広範囲胸部大動脈置換術を報告している<sup>47)</sup>。46 症例を検討した報告では在院死亡率 6.5%、術後脳梗塞はなく 5 年生存率 75% であった<sup>48)</sup>。

Karck は frozen elephant trunk technique と称して、ステントグラフトを下行大動脈に挿入することで広範囲胸部大動脈の治療を試みている<sup>49)</sup>。また慢性大動脈解離例に対して広範囲胸腹部大動脈置換を施行する場合、左心バイパスではなく F-F バイパスを用いる際に臓器灌流不全が危惧されるようであれば腹部大動脈から先に再建を行う retrograde repair も有用である<sup>50)</sup>。

最終的に大動脈全置換または大動脈亜全置換となった症例の多くは Marfan 症候群の症例であるが、対麻痺を発症しなければ QOL は比較的良好で<sup>51)</sup>、今後このような全置換症例の増加が予想される。Iguchi らは 18 年間の Marfan 症候群に対する手術成績を振り返り 22 症例に計 42 回の大動脈手術を施行し (7 例で大動脈全置換)、5 生率 90.2%、10 生率 74.4% であったと報告している<sup>52)</sup>。

## G. ステントグラフト

ステントグラフト治療の比較的良好な報告がなされているものの、遠隔期の問題点として、endoleak, durability, migration があげられ、根治的治療という点では問題が残されている。近年、徐々に胸部大動脈瘤に対する中期成績が報告されてきており、その治療の位置づけが明確化しつつある。また下行大動脈だけでなく、弓部大動脈に対するステントグラフト治療の試みも行われるようになってきている。

下行大動脈に対するステントグラフト治療は解剖学的に留置が比較的容易であるため臨床例において多く試みられてきたが、動脈硬化の強い症例では塞栓症, endoleak, migration が問題とされ、その遠隔期成績は今後の検討を待たなければならない。Brandt は open surgery と比較し、手術関連死亡, ICU 滞在期間, 入院期間の早期手術成績では有意にステントグラフト治療が優れていたことを報告している<sup>53)</sup>。Neuhauser は動脈硬化性下行大動脈瘤に対するステントグラフト治療 31 例 (待機 18 例, 緊急 13 例) の中期成績 (平均 15 カ月) を報告し、周術期死亡率 19%、technical success rate 55%、経過観察中に新たに type I endoleak をきたした症例が 23% であったと報告している<sup>54)</sup>。Bortone は 132 例の下行大動脈瘤症例を検討し、ステントグラフト治療における早期死亡率は 3.9%、平均 20.92 カ月の follow-up 期間中に 6.3% の死亡を認めたのに対して、内科的治療群では死亡率 40.9% であったと報告している<sup>55)</sup>。

胸部大動脈瘤破裂はいまだに救命率は低く、治療における課題の多い疾患である。胸部大動脈破裂症例に対する open surgery を施行した群とステントグラフト治療を施行した群を比較検討した文献では、周術期死亡率は open surgery 群で 17.8% であったのに対して、ステントグラフト群では 3.1% であり、著明に急性期救命率を改善していたが、follow up 中の reintervention や late complication はステントグラフト群で多い傾向にあり引き続き注意深い観察が必要であると結論している<sup>56)</sup>。

弓部大動脈瘤に対する外科治療成績は、脳保護法の確立に伴い前述のごとく良好なものとなってきたが、従来の外科治療では high risk の弓部大動脈瘤症例に対してステントグラフト治療が試みられている。Czerny は弓部分枝を transposition した後に弓部大動脈瘤に対して行うステントグラフト治療は、open surgery が不可能な症例に対

する第一選択になり得ることを示唆している<sup>57)</sup>。また左鎖骨下動脈に限ってはtranspositionを施行しなくても機能障害を残すことはなかったことも報告されている<sup>58)</sup>。

Shimonoは下行大動脈に内膜亀裂を有する急性および慢性大動脈解離に対するステントグラフト治療の在院死亡率2.7%であったと報告している<sup>59)</sup>。その後同施設からの中期遠隔期成績では<sup>60)</sup>、ステントグラフト留置から2年後のCTにおいて、急性期に治療を施行した症例の76%、慢性期に施行した症例の36%で偽腔の消失を認めていた。しかしながら急性期に施行した症例の21.9%において経過中に追加手技を要していたことにも注意を払わなくてはならない。またDuebenerは破裂や臓器灌流不全等の致死的合併症を伴う急性B型大動脈解離に対する急性期救命処置としてのステントグラフト治療の有用性を報告している<sup>61)</sup>。

また比較的限局した大動脈病変である外傷やPAU (penetrating atherosclerotic ulcer) はステントグラフト治療のよい適応ではないかと考えられている。Rousseauは外傷性大動脈損傷76例を検討し、ステントグラフト治療は通常のopen surgeryが危険と思われる症例においては有効な治療であることを報告している<sup>62)</sup>。またDemerはPAUに対してステントグラフト治療を行った26例を検討し、初期成功率92%、5年生存率70%、5年の治療成功率65%としているが、遠隔期のステントグラフト関連合併症のために注意深い経過観察を要することを報告している<sup>63)</sup>。

#### むすび

以上、カニューレーション法、大動脈基部再建法、脳保護法、脊髄保護法、急性大動脈解離、広範大動脈置換、ステントグラフトの項目に分け、胸部大動脈瘤外科治療の最近の進歩につき述べた。

#### 文献

- 1) Kazui T, Wada H, Fujita H. Thoracic and Cardiovascular Surgery in Japan during 2003 Annual Report by the Japanese Association for Thoracic Surgery. *Jpn J Thorac Cardiovasc Surg.* In press.
- 2) Strauch JT, Spielvogel D, Lauten A, et al. Axillary artery cannulation: routine use in ascending aorta and aortic arch replacement. *Ann Thorac Surg.* 2004; 78: 103-8.
- 3) Sabik JF, Neme H, Lytle BW, et al. Cannulation of the axillary artery with a side graft reduces morbidity. *Ann Thorac Surg.* 2004; 77: 1315-20.
- 4) Svensson LG, Blackstone EH, Rajeswaran J, et al. Does the arterial cannulation site for circulatory arrest influence stroke risk? *Ann Thorac Surg.* 2004; 78: 1274-84.
- 5) Fusco DS, Shaw RK, Tranquilli M, et al. Femoral Cannulation is safe for type A dissection repair. *Ann Thorac Surg.* 2004; 78: 1285-9.
- 6) Zehr KJ, Orszulak TA, Mullany CJ, et al. Surgery for aneurysm of the aortic root. A 30-year experience. *Circulation.* 2004; 110: 1365-71.
- 7) Bethea BT, Fitton TP, Alejo DE, et al. Results of aortic valve-sparing operations: experience with remodeling and reimplantation procedures in 65 patients. *Ann Thorac Surg.* 2004; 78: 767-72.
- 8) DePaulis RD, DeMatteis GM, Nardi P, et al. Analysis of valve motion after the reimplantation type of valve-sparing procedure (David I) with a new aortic root conduit. *Ann Thoracic Surg.* 2002; 74: 53-7.
- 9) DePaulis RD, DeMatteis GM, Nardi P, et al. One-year appraisal of a new aortic root conduit with a sinus of Valsalva. *J Thoracic Cardiovasc Surg.* 2002; 123: 33-9.
- 10) Karck M, Kallenbach K, Hagl C, et al. Aortic root surgery in Marfan syndrome: comparison of aortic valve-sparing reimplantation versus composite grafting. *J Thoracic Cardiovasc Surg.* 2004; 127: 391-8.
- 11) Miller CD. Valve-sparing aortic root replacement in patients with the Marfan syndrome. *J Thoracic Cardiovasc Surg.* 2003; 125: 773-8.
- 12) Kazui T, Yamashita K, Terada H, et al. Late reoperation for proximal aortic and arch complications after previous composite graft

- replacement in Marfan patients. *Ann Thorac Surg.* 2003; 76: 1203-7.
- 13) Harrington DK, Bonser M, Moss A, et al. Neurophysiometric outcome following aortic arch surgery: a prospective randomized trial of retrograde cerebral perfusion. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2003; 126: 638-44.
  - 14) Hagl C, Khaladj N, Karck M, et al. Hypothermic circulatory arrest during ascending and aortic arch surgery: the theoretical impact of different cerebral perfusion techniques and other methods of cerebral protection. *Eur J Cardiothorac Surg.* 2003; 24: 371-8.
  - 15) Eusanio MD, Schepens MAAM, Morshuis WJ, et al. Antegrade selective cerebral perfusion during operations on the thoracic aorta: factors influencing survival and neurologic outcome in 413 patients. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2002; 124: 1080-6.
  - 16) Kouchoukos NT, Masetti P. Total aortic arch replacement with a branched graft and limited circulatory arrest of the brain. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2004; 128: 233-7.
  - 17) Neri E, Sassi C, Barabesi L, et al. Cerebral autoregulation after hypothermic circulatory arrest in operations on the aortic arch. *Ann Thorac Surg.* 2004; 77: 72-9.
  - 18) Strauch JT, Spielvogel D, Haldenwang PL, et al. Impact of hypothermic selective cerebral perfusion compared with hypothermic cardiopulmonary bypass on cerebral hemodynamics and metabolism. *Eur J Cardiothorac Surg.* 2003; 24: 807-16.
  - 19) Strauch JT, Spielvogel D, Lauten A, et al. Technical advances in total aortic arch replacement. *Ann Thorac Surg.* 2004; 77: 581-90.
  - 20) Di Eusanio M, Schepens MA, Morshuis WJ, et al. Brain protection using antegrade selective cerebral perfusion: a multicenter study. *Ann Thorac Surg.* 2003; 76: 1181-8.
  - 21) Kazui T, Yamashita K, Washiyama N, et al. Usefulness of antegrade selective cerebral perfusion during aortic arch operations. *Ann Thorac Surg.* 2002; 74: S1825-32.
  - 22) Strauch JT, Spielvogel D, Lauten A, et al. Optimal temperature for selective cerebral perfusion. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2005; 130: 74-82.
  - 23) Immer FF, Lippeck C, Barmettler H, et al. Improvement of quality of life after surgery on the thoracic aorta. *Circulation.* 2004; 110 Suppl II: II-250-5.
  - 24) Spielvogel D, Mathur MN, Lansman SL, et al. Aortic arch reconstruction using a trifurcated graft. *Ann Thorac Surg.* 2003; 75: 1034-6.
  - 25) Di Eusanio M, Schepens MA, Morshuis WJ, et al. Separate grafts or en bloc anastomosis for arch vessels reimplantation to the aortic arch. *Ann Thorac Surg.* 2004; 77: 2021-8.
  - 26) Spielvogel D, Halstead JC, Meier M, et al. Aortic arch replacement using a trifurcated graft: simple, versatile, and safe. *Ann Thorac Surg.* 2005; 80: 90-5.
  - 27) Tan ME, Dossche KM, Morshuis WJ, et al. Ia extended arch replacement for acute type A aortic dissection an additional risk for mortality? *Ann Thorac Surg.* 2003; 76: 1209-14.
  - 28) Kazui T, Washiyama N, Bashar AHM, et al. Surgical outcome of acute type A aortic dissection: analysis of risk factors. *Ann Thorac Surg.* 2002; 74: 75-82.
  - 29) Kazui T, Yamashita K, Washiyama N, et al. Impact of an aggressive surgical approach on surgical outcome in type A aortic dissection. *Ann Thorac Surg.* 2002; 74: S1844-7.
  - 30) Kakinohana M, Kawabata T, Miyata Y, et al. Myogenic transcranial motor evoked potentials monitoring cannot always predict neurologic outcome after spinal cord ischemia in rats. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2005; 129: 46-52.
  - 31) Shi E, Kauzi T, Jiang X, et al. NS-7, a novel Na<sup>+</sup>/Ca<sup>2+</sup> channel blocker, prevents neurologic injury after spinal cord ischemia in rabbits. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2005; 129: 364-71.
  - 32) Kiziltepe U, Turan NN, Han U, et al. Resveratrol, a red wine polyphenol, protects spinal cord from ischemia-reperfusion injury. *J Vasc Surg.* 2004; 40: 138-45.
  - 33) Toumpoulis IK, Papakostas JC, Matsagas Mi, et al. Superiority of early relative to late ischemic preconditioning in spinal cord protection after descending thoracic aortic occlusion. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2004; 128: 724-30.
  - 34) Isbir CS, Ak K, Kurtkaya O, et al. Ischemic preconditioning and nicotinamide in spinal cord protection in an experimental model of transient aortic occlusion. *Eur J Cardiothorac Surg.* 2003; 23: 1028-33.
  - 35) Coselli JS, LeMire SA, Conklin LD, et al. Left heart bypass during descending thoracic aortic aneurysm



- repair does not reduce the incidence of paraplegia. *Ann Thorac Surg.* 2004; 77: 1298-303.
- 36) Kouchoukos NT, Masetti P, Rokkas CK, et al. Hypothermic cardiopulmonary bypass and circulatory arrest for operations on the descending thoracic and thoracoabdominal aorta. *Ann Thorac Surg.* 2002; 74: S1885-7.
- 37) Strauch JT, Spielvogel D, Lauten A, et al. Importance of extrasegmental vessels for spinal cord blood supply in a chronic porcine model. *Eur J Cardiothorac Surg.* 2003; 24: 817-24.
- 38) Biglioli P, Roberto M, Cannata A, et al. Upper and lower spinal cord blood supply: the continuity of the anterior spinal artery and the relevance of the lumbar arteries. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2004; 127: 1188-92.
- 39) Chiesa R, Melissano G, Marrocco-Trischitta MM, et al. Spinal cord ischemia after elective stent-graft repair of the thoracic aorta. *J Vasc Surg.* 2005; 42: 11-7.
- 40) Trimarchi S, Nienaber CA, Rampoldi V, et al. Contemporary results of surgery in acute type A aortic dissection: The International Registry of Acute Aortic Dissection experience. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2005; 129: 112-22.
- 41) Eusanio MD, Schepens MAAM, Morshuis WJ, et al. Surgery for acute type A aortic dissection: the effect of antegrade selective cerebral perfusion on early outcome of elderly patients. Presented at the 3rd European Association for Cardiothoracic Surgery/ETSTS Joint Meeting on 2004. 9. 12-15, in Leipzig, Germany.
- 42) Chiappini B, Tan ME, Morshuis W, et al. Surgery for acute type A aortic dissection: is advanced age a contraindication? *Ann Thorac Surg.* 2004; 78: 585-90.
- 43) Takahara Y, Sudo Y, Mogi K, et al. Total aortic arch grafting for acute type A dissection: analysis of residual false lumen. *Ann Thorac Surg.* 2002; 73: 450-4.
- 44) Mizuno T, Toyama M, Tabuchi N, et al. Stented elephant trunk procedure combined with ascending aorta and arch replacement for acute type A aortic dissection. *Eur J Cardiothorac Surg.* 2002; 22: 504-9.
- 45) Svensson LG, Kim KH, Blackstone EH, et al. Elephant trunk procedure: newer indications and uses. *Ann Thorac Surg.* 2004; 78: 109-16.
- 46) Safi HJ, Miller CC, Estrera AL, et al. Staged repair of extensive aortic aneurysms: Long-term experience with the elephant trunk technique. *Ann Surg.* 2004; 240: 677-85.
- 47) Kouchoukos NT, Masetti P, Rokkas CK, et al. Single-stage reoperative repair of chronic type A aortic dissection using the arch first technique. *Ann Thorac Surg.* 2002; 74: S1800-2.
- 48) Kouchoukos NT, Mauney MC, Masetti P, et al. Single-stage repair of extensive thoracic aortic aneurysms: experience with the arch-first technique and bilateral anterior thoracotomy. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2004; 128: 669-76.
- 49) Karck M, Chavan A, Hagl C, et al. The frozen elephant trunk technique: a new treatment for thoracic aortic aneurysms. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2003; 125: 1550-3.
- 50) Kazui T, Yamashita K, Terada H, et al. Retrograde segmental aortic repair for type II thoracoabdominal aortic aneurysm. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2004; 127: 1827-9.
- 51) Yamashita K, Kazui T, Terada H, et al. Total and subtotal aortic replacement for extensive aortic dissection in patients with or without Marfan's syndrome. *Jpn J Thorac Cardiovasc Surg.* 2002; 50: 315-20.
- 52) Iguchi A, Saiki Y, Oda K, et al. Results of aortic surgery in patients with Marfan syndrome. *Surgery Today.* 2005; 35: 106-11.
- 53) Brandt M, Hussel K, Walluscheck KP, et al. Stent-graft repair versus open surgery for descending aorta: a case-control study. *J Endovasc Ther.* 2004; 11: 535-8.
- 54) Neuhauser B, Perkmann R, Greiner A, et al. Mid-term results after endovascular repair of the atherosclerotic descending thoracic aortic aneurysm. *Eur J Vasc Endovasc Surg.* 2004; 28: 146-53.
- 55) Bortone AS, De Cillis E, D'Agostino D, et al. Endovascular treatment of thoracic aortic disease: four years of experience. *Circulation.* 2004; 110 (11 Suppl 1): II262-7.
- 56) Doss M, Wood JP, Balzer J, et al. Emergency endovascular interventions for acute thoracic aortic rupture. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2005; 129: 645-51.
- 57) Czerny M, Zimpfer D, Pleck T, et al. Initial results

- after combined repair of aortic arch aneurysms by sequential transposition of the supra-aortic branches and consecutive endovascular stent-graft placement. *Ann Thorac Surg.* 2004; 78: 1256-60.
- 58) Rehders TC, Petzsch M, Ince H, et al. Intentional occlusion of the left subclavian artery during stent-graft implantation in the thoracic aorta: risk and relevance. *J Endovasc Ther.* 2004; 11: 659-66.
- 59) Shimono T, Kato N, Yasuda F, et al. Transluminal stent-graft placement for the treatments of acute onset and chronic aortic dissections. *Circulation.* 2002; 106 suppl I: I-241-7.
- 60) Kusagawa H, Shimono T, Ishida M, et al. Changes in false lumen after transluminal stent-graft placement in aortic dissections. *Circulation.* 2005; 111: 2951-7.
- 61) Duebener LF, Lorenzen P, Richardt G, et al. Emergency endovascular stent-grafting for life-threatening acute type B aortic dissections. *Ann Thorac Surg.* 2004; 78: 1261-7.
- 62) Rousseau H, Dambrin C, Marcheix B, et al. Acute traumatic aortic rupture: a comparison of surgical and stent-graft repair. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2005; 129: 1050-5.
- 63) Demers P, Miller DG, Mitchell RS, et al. Stent-graft repair of penetrating atherosclerotic ulcers in the descending thoracic aorta: mid-term results. *Ann Thorac Surg.* 2004; 77: 81-6.

## Institutional report - Vascular thoracic Total arch replacement for aneurysm of the aortic arch: factors influencing the distal anastomosis<sup>\*</sup>

Mitsuru Asano, Kenji Okada, Keitaro Nakagiri, Hiroshi Tanaka, Yujiro Kawanishi, Masamichi Matsumori,  
Hiroshi Munakata, Yutaka Okita<sup>\*</sup>

Department of Cardio-Pulmonary and Vascular Medicine, Division of Cardiovascular, Thoracic, and Pediatric Surgery,  
Kobe University Graduate School of Medicine, 7-5-2 Kusunoki-cho, Chuo-ku, Kobe 650-0017, Japan

Received 16 September 2006; received in revised form 26 January 2007; accepted 29 January 2007

### Abstract

Total arch replacement (TAR) for aneurysm of the aortic arch through the midsternotomy has several advantages over left thoracotomy. The purpose of this study was to identify the factors that might have an effect on the distal anastomosis through midsternotomy. From October 1999 to August 2005, 125 patients underwent TAR for aneurysm of the aortic arch through midsternotomy. Ninety-four patients with antegrade cerebral perfusion were selected. Distal anastomosis was performed under circulatory arrest (CA) of the lower body. Preoperatively, the diameter of aneurysm, the depth of distal end of aneurysm from anterior skin surface and the anteroposterior diameter of body trunk were measured. Postoperatively, the distance from the carina to the distal anastomosis was measured. There were six early deaths (6.4%). Duration of CA was  $37 \pm 7.6$  min. Diameter of the aneurysm was  $60.6 \pm 13.2$  mm and the depth of the distal end of aneurysm was  $139 \pm 20.6$  mm. There was no correlation between CA time and these factors. The anteroposterior diameter of body trunk was  $200 \pm 18.0$  mm and has a correlation with CA time. The depth of distal end of aneurysm from anterior skin surface was the only factor that affected duration for distal anastomosis.

© 2007 Published by European Association for Cardio-Thoracic Surgery. All rights reserved.

**Keywords:** Total arch replacement; Arch aneurysm; Circulatory arrest; Midsternotomy

### 1. Introduction

Surgical treatment of arch aneurysms has remarkably improved in recent years [1, 2]. Total arch replacement (TAR) for aneurysm of the aortic arch through the midsternotomy has several advantages [1]. However, in TAR, distal anastomosis through midsternotomy is sometimes compromised because of a fragile aortic wall, and narrowed or deep working space. In anecdotes, midsternotomy was used for the aneurysm of arch approximately at the level of tracheal bifurcation and if the aneurysm extended more distal, left thoracotomy was employed [1]. The definitive indications of midsternotomy for arch aneurysm were not reported. The purpose of this study was to identify the factors that might affect on the distal anastomosis when the arch aneurysm was entered from the midsternotomy.

### 2. Patients and methods

#### 2.1. Patients

From October 1999 to August 2005, 130 consecutive patients with non-dissected aneurysm of the aortic arch

underwent TAR in our institution. In 125 patients, the aneurysms could be approached through midsternotomy alone. For brain protection, selective antegrade cerebral perfusion (SCP) was used in 94 patients and deep hypothermia circulatory arrest, with retrograde cerebral perfusion in 31 patients. In this study, patients who had SCP were selected. Mean age was  $74 \pm 6$  (57–86) years. Aneurysm shapes were 51 fusiform and 43 saccular.

#### 2.2. Operative techniques

Cardiopulmonary bypass (CPB) was established by using ascending aortic cannulation and bicaval drainage. Both antegrade and retrograde cardioplegia were used to myocardial protection. Aneurysm was opened under deep hypothermic (nasopharyngeal temperature 23 °C) circulatory arrest (CA). SCP for the cerebral protection was started with balloon-tipped catheters which were selectively inserted in all three arteries. The orifice of the descending aorta, which was distal to the aneurysm, was transected from inside of the aneurysm without touching the left vagal nerve and the left recurrent nerve. Aggressive dissection and division of the esophageal branches, bronchial arteries, and upper intercostal arteries facilitated adequate mobilisation of the descending aorta. A quadrifurcated Dacron graft was used and distal anastomosis was performed with 4-0 polypropylene suture with reinforcement of a Teflon

<sup>\*</sup> Presented at the Joint 20th Annual Meeting of the European Association for Cardio-thoracic Surgery and the 14th Annual Meeting of the European Society of Thoracic Surgeons, Stockholm, Sweden, September 10–13, 2006.

<sup>\*</sup>Corresponding author. Tel.: +81-78-382-5942; fax: +81-78-382-5959.

E-mail address: yokita@med.kobe-u.ac.jp (Y. Okita).

© 2007 Published by European Association for Cardio-Thoracic Surgery



Fig. 1. (a) Aneurysm was opened after circulatory arrest. (b) Selective antegrade perfusion (SCP) was started with selective three balloon catheters. The descending aorta was transected from inside of the aneurysm. (c) Using a quadrifurcated graft, distal anastomosis was performed with 4-0 polypropylene suture with Teflon felt reinforcement under deep hypothermic (23) circulatory arrest of the lower body. (d) During rewarming, the ascending aorta was anastomosed, then individual reconstruction of arch vessels to the graft branches was performed.

felt strip. Rewarming was started after the distal anastomosis. In patients without intra- or extra-cranial vascular lesions, the ascending aorta to graft anastomosis was achieved and the coronary arteries were reperfused. Finally, individual anastomosis of the left subclavian artery, the left common carotid artery, and the brachiocephalic artery to the graft branches were performed with 5-0 polypropylene suture. For patients who had cranial vascular obstructive lesion, reconstruction of arch vessels was performed prior to rewarming and to the proximal anastomosis (Fig. 1).

### 2.3. Measurements

Preoperatively, the diameter of aneurysm (Fig. 2), the depth of distal end of aneurysm from anterior skin surface (Fig. 2b) and the anteroposterior diameter of body trunk (Fig. 2c) were measured using computed tomography (CT). During the operation, the aortic wall was subjectively evaluated according to the severity of atherosclerosis in the point of aortic fragility and calcification, and classified into three grades (1: mild, 2: moderate, 3: severe). Postoperatively, distance from the middle point of the tracheal bifurcation to the distal end of the anastomosis was measured by CT (Fig. 3).

### 2.4. Statistical analysis

All analyses were performed using the Stat view version 4.5 statistical package (Abacus Concepts Inc., Berkeley, CA) and Sigastat software.

Continuous data are expressed as the mean  $\pm$  standard deviation. Multivariate logistic regression was used to identify independent predictors of prolonged CA and the cor-

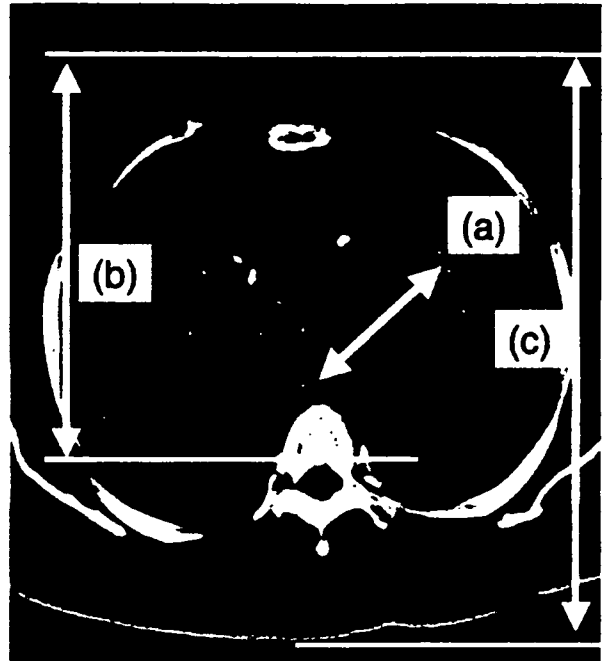


Fig. 2. The diameter of aneurysm (a), the depth of distal end of aneurysm from anterior body surface (b), and the anteroposterior diameter of body trunk (c), was measured by computed tomography.

relations between CA time and four factors (a~d) were analysed. A *P*-value of 0.05 or less was considered significant.

### 3. Results

The overall in-hospital mortality was 6.4% (6 of 94 patients). No patients required additional skin incision or left pleurotomy. Two patients died due to respiratory dysfunction, two multi-organ failures, one low output syndrome and one sepsis. As the morbidity, 5 patients (5.3%) had respiratory dysfunction, 3 (3.2%) mediastinitis, 3 (3.2%) renal dysfunction, and 3 (3.2%) neurological dysfunction, and 4 (4.3%) hoarseness.

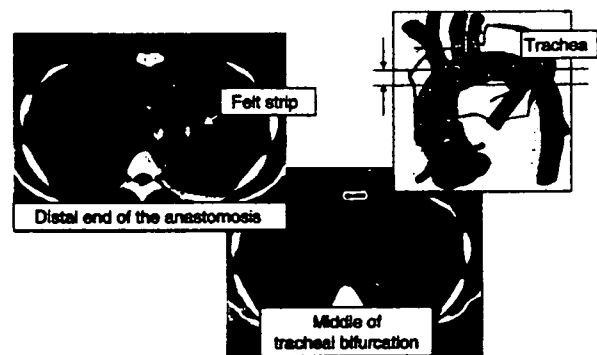


Fig. 3. The postoperative distance from tracheal bifurcation to the distal end of the anastomosis by CT.

**Table 1**  
The measurements of anatomical, operative and postoperative factors

Preoperative measurements (mm)	
Diameter of aneurysm	60.6 ± 13.2 (25–91)
Depth of the end of aneurysm from anterior skin level	139 ± 20.6 (80–180)
Anteroposterior diameter of body trunk	200 ± 18.0 (160–240)
Depth ratio	0.70 ± 0.08 (0.39–0.85)
Operative measurements (min)	
Surgery time	391 ± 128 (225–845)
Cardiopulmonary bypass time	168 ± 61 (115–263)
Aorta cross-clamp time	70 ± 30 (38–195)
Circulatory arrest time	37 ± 7.6 (24–49)
Aortic wall score	1.92 ± 0.9
Postoperative measurements (mm)	
The distance from the distal end of the anastomosis to the tracheal bifurcation	10.7 ± 7.9 (–10 to 30)

**3.1. Preoperative measurements**

The mean diameter of aneurysm was 60.6 ± 13.2 mm. The mean distance between distal end of aneurysm and anterior skin level was 139 ± 20.6 mm (Table 1).

**3.2. Intra-operative measurement**

Duration of lower body CA was 37 ± 7.6 min. The aortic wall score at the distal anastomosis, which was subjectively evaluated by a surgeon (Y.O.), was grade one (normal or trivial) in 24 patients, grade two (moderate) in 25, and grade three (severe) in 36. The mean aortic score was 1.92 ± 0.9. Eighteen patients required a longer CA time (over 40 min). The main reasons for this time consuming was fragile aortic wall; two had aortic injury, one needed concomitant endarterectomy, and one had adhesion to pleura. In five patients, the surgeon subjectively felt that the distal anastomosis was very deep (Tables 1 and 2).

**Table 2**  
The factors which prolonged circulatory arrest time over 40 min

Aortic wall quality	n=11
Poor aortic wall	9
Endarterectomy	1
Aortic injury due to poor aorta	2
Other	n=6
Adhesion to pleura	1
Surgeon's feeling to be deep	5

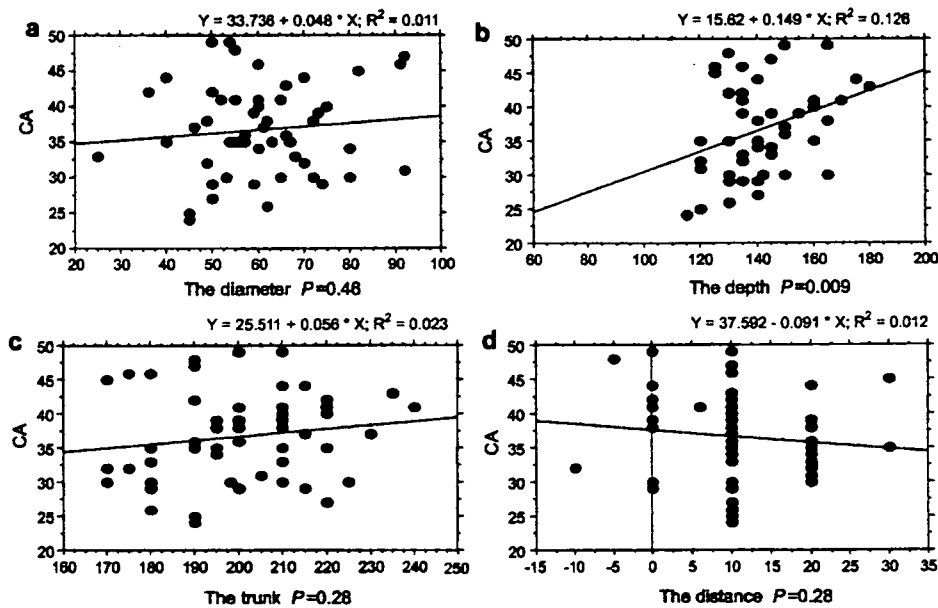
**3.3. Postoperative measurements**

The distance from the distal end of the anastomosis to the mid-portion of the tracheal bifurcation was 10.7 ± 7.9 (–10 to 30) mm (Table 1).

**3.4. Correlation**

The correlation between CA time and the five factors: the diameter of aneurysm (Fig. 4a), the depth of the distal end of aneurysm from anterior skin (Fig. 4b), the anteroposterior diameter of body trunk (Fig. 4c), and the distance between the distal end of the anastomosis and the tracheal bifurcation (Fig. 4d) were analysed. There was no significant correlation between CA time and the diameter of aneurysm, the anteroposterior diameter of body trunk, and the distance from the distal end of the anastomosis to the tracheal bifurcation. However, a weak correlation between the depth of distal end of aneurysm from the anterior skin and with CA time was found (P=0.0085, R<sup>2</sup>=0.11).

The logistic regression for multivariate analysis demonstrated that the depth of distal end of aneurysm from the anterior skin level over 150 mm was the only risk factor (OR: 28.1; CI: 1.73–456.9; P=0.02) for CA time over 40 min (Table 3).



**Fig. 4.** The correlation between the CA time and (a) the diameter of aneurysm, (b) the depth of distal end of aneurysm from anterior body skin level, (c) the anteroposterior diameter of body trunk, (d) the distance from tracheal bifurcation to the distal end of the anastomosis.

Table 3  
The multivariate logistic regression about the risk factors and CA time over 40 min

	Odds	CI	P
Post OP distance from the tracheal bifurcation	0.5	0.06–4.18	0.54
The diameter of aneurysm (<50 mm)	0.9	0.09–8.86	0.92
The depth of distal end of aneurysm (>150 mm)	28.1	1.73–456.9	0.02
The anteroposterior diameter of body trunk (>210 mm)	0.22	0.02–2097	0.25
The aortic wall condition	0.98	0.17–5.63	0.98
The shape of aneurysm	0.32	0.04–2.41	0.26

#### 4. Discussion

The surgical treatment for arch aneurysms has remarkably improved in recent years, and operative mortality was reported as low as 0.8–5.3% [1, 2]. The most common approach for aortic arch down to distal arch aneurysm is through midsternotomy [1–3]. This approach has several advantages in cerebral, cardiac, pulmonary and recurrent nerve protection, which reduces postoperative respiratory dysfunction and wound pain caused by left thoracotomy [1, 4]. Benefits of the midsternotomy are feasible access for ascending aortic cannulation and establishment of an ordinary cardiopulmonary system, combined surgery such as aortic valve or coronary surgery, more appropriate brain protection using SCP [3, 5] and myocardial protection, and less impairment of respiratory function than left thoracotomy. The posterolateral left thoracotomy approach provides some advantages such as wider exposure of the distal part of the aortic arch, however, a femoro-femoral bypass was normally required, which might produce cerebral embolism caused by a result of retrograde perfusion [6]. In addition, manipulation of the left lung sometimes causes serious bronchial bleeding, particularly in the setting of deep hypothermia, and may lead to pulmonary complications. Also from the left thoracotomy, isolation of the left vagal nerve is mandatory to make an anastomosis. There have been several alternatives for the exposure of the distal aortic arch besides the posterolateral left thoracotomy; L-shape incision approach (a combination of a left anterior thoracotomy and upper half midsternotomy), midsternotomy with left anterolateral thoracotomy and anteroaxillary thoracotomy [7–9]. However, no study which accumulated a significant number of patients was reported. Procedures regarding the distal anastomosis in TAR would be the most difficult part during the operation. Severely diseased aorta of distal arch and deep anastomotic site within a narrow working-space, particularly in larger male patients, makes this procedure more technically demanding [1, 2]. Minatoya et al. applied 'a stepwise technique' to facilitate the distal anastomosis, such as suturing a separate graft first as a short elephant trunk then making a graft to graft anastomosis [2]. Regarding the extension of the thoracic aneurysm for surgical anastomosis, Ogino et al. reported that for aneurysms from the aortic root to the end of the aortic arch, the median approach is feasible and that from the end of the ascending aorta to the mid-portion of the descending aorta the anterolateral approach is preferable, and from the proximal descending aorta to the distal part of the descending aorta, the posterolateral approach should be employed [1]. Our aim in this study was to identify the factors that might affect the distal anastomosis

of TAR when the aneurysm was entered from the mid line. The diameter of aneurysm indicates the area of working-space and the depth of distal end of aneurysm from anterior skin surface shows depth of working-space. The anteroposterior diameter of body trunk shows the body size. We speculated that the depth of anastomosis, the room for working-space and the characters of aortic wall might affect the quality of distal anastomosis. However, our data demonstrate that only the depth of distal end of aneurysm, which was analogue to the depth of anastomosis from the midsternotomy, was proven to be a risk factor for a longer CA time. The distal anastomosis could be safely performed at the level of 10 mm distal to the tracheal bifurcation regardless of the diameter and the shape of the aneurysm, the antero-posterior diameter of body trunk, and aortic wall quality. Although there was a tendency that a fragile aortic wall required longer CA time >40 min.

In conclusion, the aneurysm of the aortic arch was safely accessible from the midsternotomy down to the level of tracheal bifurcation. We could reach a portion 1 cm lower from tracheal bifurcation without being affected by working space, shape of aneurysms and the quality of aortic wall. Only the depth of distal anastomosis from anterior body surface is the risk factor for a longer CA time.

#### References

- Ogino H, Ueda Y, Sugita T, Matsuyama K, Matsubayashi K, Nomoto T, Yoshioka T. Aortic arch repairs through three different approaches. *Eur J Cardiothorac Surg* 2001;19:25–29.
- Minatoya K, Ogino H, Matsuda H, Sasaki H, Yagihara T, Kitamura S. Surgical management of distal arch aneurysm: another approach with improved results. *Ann Thorac Surg* 2006;81:1353–1357.
- Okita Y, Ando M, Minatoya K, Kitamura S, Takamoto S, Nakajima N. 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* 2001;72:72–79.
- Bachet J, Gullmet D, Goudot B, Dreyfus GD, Delentdecker P, Brodaty D, Dubois C. Antegrade cerebral perfusion with cold blood: a 13-year experience. *Ann Thorac Surg* 1999;67:1874–1878.
- Kazui T, Yamashita K, Washiyama N, Terada H, Abul Hassan MB, Suzuki T, Ohkura K. Usefulness of antegrade selective cerebral perfusion during aortic arch operations. *Ann Thorac Surg* 2002;74:S1806–S1809.
- Dossche KM, Schepens MA, Morshuis WJ, Muysoms FE, Langemeijer JJ, Vermeulen FEE. Antegrade selective cerebral perfusion in operations on the proximal thoracic aorta. *Ann Thorac Surg* 1999;67:1904–1910.
- Tominaga R, Kurisu K, Ochiai Y, Nakashima A, Matsuda M, Morita S, Yasui H. Total aortic arch replacement through the L-incision approach. *Ann Thorac Surg* 2003;75:121–125.
- Ohata T, Sakakibara T, Takano H, Ishizaka T. Total arch replacement for thoracic aortic aneurysm via median sternotomy with or without left anterolateral thoracotomy. *Ann Thorac Surg* 2003;75:1792–1796.
- Sasaguri S, Yamamoto S, Fukuda T, Hosoda Y. Anteroaxillary thoracotomy facilitates the use of retrograde cerebral perfusion in distal aortic arch reconstruction. *Ann Thorac Surg* 1996;62:1861–1862.

## Conference discussion

*Dr. D.C. Miller (Stanford, California, USA):* Please tell us the weight, number of kilograms, and body surface area, BSA in meters squared, for your patients.

*Dr. Okita:* Our patients are quite small compared to Caucasian people. Our average body weight is around 50 and 60, and including a 30 kg 80-year-old lady. So quite small.

*Dr. E. Buffolo (Sao Paulo, Brazil):* The cases presented by Dr. Okita's group represent, in our opinion, a good application of the hybrid approach. In this case, what would we do? It will be a median sternotomy. And if the patient has normal, or almost normal, ascending aorta, we would apply a stent in the aortic arch and do anastomotic deviation to the arch vessels. This is a very simple procedure, does not need extracorporeal circulation or even deep hypothermia and circulatory arrest. It's simple vascular surgery. Since the last patients, I do not remember cases that I operate the aortic arch with extracorporeal circulation. I think that these cases are good indications to the hybrid approach.

*Dr. Miller:* I'll be polite and not ask you about the long-term durability of this hybrid approach; but you've made a very provocative and even inflam-

matory point. Furthermore, for the patients' sake we do not want the vascular surgeons to be doing these kind of hybrid arch operations without us.

*Dr. Okita,* can you respond to Dr. Buffolo's suggestion that we do these cases without the pump and without circulatory arrest?

*Dr. Okita:* I'm sorry we cannot show the videos. But if you go, in some patients, the arch is very dirty; and we don't want to embolize with an endovascular graft.

Our data shows that our circulatory arrest time is around 40 min. That means very stable and very encouraging results. So we don't want to do endovascular surgery like that.

*Dr. Miller:* I would love to do total arch replacements in 40 kilo patients. The exposure would be like an inguinal hernia repair for us compared to the huge and obese American patients we operate on all too commonly.

*Dr. Okita:* I don't agree.

*Dr. Miller* doesn't know how small our patient is. And the 30 kg, 80-year-old lady is very fragile. It's very difficult conditions.

*Dr. Miller:* I would take that patient any day over a 130 kg, 2.5 square meter 'gringo' in North America or lumberjack in northern Europe.

# 人工心肺中の脳保護 —逆行性脳灌流—

大西 佳彦\*

国立循環器病センター手術部麻酔科

## <要 旨>

逆行性脳灌流 (RCP) は弓部大動脈置換手術での新たな脳保護法として開始された。その方法は簡便であり、手術操作や手術時間延長の妨げとならないことから幅広く普及した。しかし、その脳保護効果には時間的制約が大きく、また、脳浮腫や高次機能低下という問題点が判明したため限られた症例でしか使用されなくなった。しかしながら、RCPによる頭部冷却や空気、debrisによる塞栓予防の効果は確実である。今後は循環停止や選択的順行性送血と組み合わせてRCPを有効に利用する発展が望まれる。(臨床麻酔 2006; 30: 471-8)

キーワード: 弓部大動脈置換手術, 逆行性脳灌流, 超低体温人工心肺

## はじめに

逆行性脳灌流法は弓部大動脈置換手術など脳へ送血している頸動脈を操作する手術で使用される脳保護法の1つであり、当初は空気や塞栓除去することを主な目的として単純循環遮断後の再灌流前に短時間行われていた<sup>1)</sup>。その方法は、上大静脈(SVC)に挿入された脱血管から逆向きに送血を行うという単純な方法であり、吻合操作中にも持続して行う逆行性脳灌流が新たな脳保護法として確立されてきた<sup>2)</sup>。その容易さから欧米を中心として多くの施設で施行されるようになったが、時間的限界がある程度判明してきたため、現在では一時ほど多くの報告は見られなくなっている。

## 1. 弓部置換手術における脳保護法

現在の弓部置換手術では、脳保護法として主に3種類の方法が用いられており、それぞれ長短を

\*Yoshihiko Ohnishi

〒565-8565 吹田市藤白台 5-7-1

国立循環器病センター手術部麻酔科; 医長

もち合わせている。

## 1 超低体温単純循環停止 (Circulatory Arrest: CA)

人工心肺下に脳温 16℃ 以下の超低体温として、頭部を冷却しながら単純に人工心肺の循環を停止して血管吻合操作を行う方法である。術野は簡潔で血液の流出がほとんどないため、視野が良く手術操作がしやすい長所がある。

欧米ではまだ多くの施設でこの方法が利用されている。20℃ 以下の超低体温では脳酸素需要が大きく低下することを利用した脳保護法であるが、40分を越えるCAでは脳障害発症率が大きく増加するとされており、時間的制約はある。また、再灌流時に空気やdebrisなどを押し込むことから塞栓の発症が生じる危険性がある。

## 2 選択的順行性脳分離灌流 (Selective Antegrade Cerebral Perfusion: SCP)

左右それぞれの総頸動脈に選択的に送血管を挿入して、順行性に灌流する方法である。生理的で



あり常に脳への酸素供給が維持されることになる。欧米で実験的に開始された当初は灌流量が多過ぎて脳浮腫などの問題が生じた。その後、本邦で改良工夫されて、超低体温と低流量を組み合わせることで安全に施行されるようになった。超低体温下での総血流量は300~500 ml/min前後、灌流圧は30~40 mmHgを維持している。手術操作が煩雑となること、複数の送血管により術視野が悪くなるなどの欠点が挙げられる。

最近では無名動脈をクランプした右腋窩動脈からの送血や、左鎖骨下動脈からも送血して椎骨動脈血流を維持するなどの工夫もされている。人工心肺装置や技術向上により、超低体温に伴う止血凝固能低下、臓器傷害や人工心肺時間延長を防止するために、最近では超低体温から25℃前後、そして中等度低体温(28℃前後)でのSCPも試みられている<sup>3)</sup>。流量は500~800 ml/min前後、灌流圧は50~60 mmHgが必要となる。

### ③ 逆行性脳灌流 (Retrograde Cerebral Perfusion : RCP)

20℃以下の超低体温下にして、循環停止から上大静脈の脱血管から逆向きに送血を行うことにより脳灌流を維持する方法である。当初は、やや頭位を下げた体位として15~20 mmHg程度の中心静脈圧(CVP)を目標に送血を行っていたが、個人差があることと絶対的流量不足から術後に譫妄や高次機能低下症例が比較的多くみられた<sup>4)</sup>。現在では25 mmHg程度まで圧を上げているが、時間的には60分前後が限界とされている。流量は個人差があるが200~700 ml/min程度となる。いずれにしてもRCPは単純循環遮断の補助的効果しか望めず、あくまでも超低体温下に施行することが必要である。

RCPでの上大静脈からの送血ではその多くが、鎖骨下静脈や奇静脈へと流れ、頭部静脈への流入は少ないと考えられる。さらに実際のRCP中には弓部3分枝より少量の血液流出が確認されるが、解剖学的に頭蓋内静脈洞への流入には20~30

mmHg以上の高い圧が必要とされており、RCP自体の効果を疑う意見もある。

## 2. 弓部置換手術における脳保護法の変遷

1970年代には、弓部置換手術をCA下に施行していた。超低体温下での脳酸素需要の大きな低下を期待しての脳保護法であるが、時間的には30~40分が限界であった。

その後、1980年代には選択的に総頸動脈にカニューレションして送血を行う、SCPを超低体温下に施行する施設が日本を中心に増加した。しかし、その操作は煩雑であり、送血量の設定も厳密に行う必要があるため、欧米では限られた施設での使用にとどまっていた。SCPでは新たなポンプにより下半身とは別に頭頸部に送血を行う必要がある。また、低体温の程度や送血分枝数により送血量や灌流圧の設定を変えていく必要があるため、人工心肺操作者の熟達が必要となる。

RCPはCAに少し手を加えるだけで施行できる簡便な方法であり、手術操作中の持続による脳保護法としては本邦で最初に報告された<sup>2)</sup>。SVCの脱血管をテーピングして、送血管および下大静脈(IVC)の脱血管を遮断し、人工心肺回路内シャントを利用してSVC脱血管より送血を行うことになる。軽度頭位を下げたトレンデレンブルグ体位として、20 mmHg前後の中心静脈圧を維持する(Fig. 1)。送血は10℃以下に冷却した血液で灌流を行うことにより、脳温を低く維持する効果も望める。この方法でのRCPにより、実際に脳灌流が逆行性に還流されていることは、網膜色素血流法やラジオアイソトープ法などにより確認されているが、その流量は非常に少なく、冷却された脳組織酸素代謝量さえも十分に補えるだけの量はないことも判明した<sup>5)</sup>。そのためRCPには時間的制約があり、45~60分を越える症例では脳機能障害が増加するとされてきた。また、その灌流には個人差があるためか、高頻度で術後

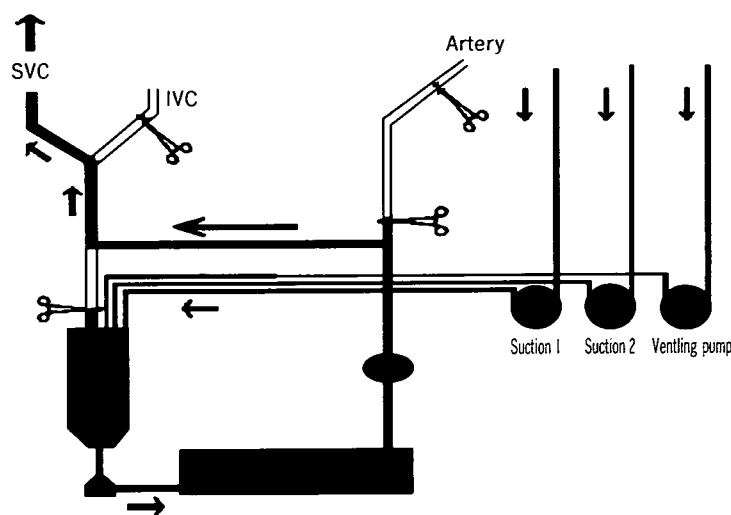


Fig. ① Retrograde cerebral perfusion can be easily performed using the bypass connecting between arterial and venous lines and clamping the IVC. SVC: superior vena cava, IVC: inferior vena cava.

一時的な譫妄状態や高次機能低下が報告されてきた<sup>4)</sup>。

現在は、手術操作に時間がかかると予想される症例では、SCPが選択される施設が増加してきている。SCPでは腋窩動脈からの送血による右総頸動脈一側送血など操作を簡便にするとともに塞栓を予防する工夫がいろいろと試みられている<sup>6)</sup>。部分弓部置換や上行置換手術で大動脈遮断が不可能な症例ではCAや短時間RCPが施行される場合もある。

SCPでは右腋窩動脈送血による右総頸および右椎骨動脈送血と左総頸動脈、左鎖骨下動脈の3分枝送血を行うことにより頸部4分枝すべてへの送血を行うことが可能となる。こうしたSCPでは生理的な脳血流が完全に維持されるため、25~28℃程度の中等度低体温で管理することで、凝固能保持や人工心肺時間短縮に努めることも試みられている。

遠位弓部大動脈瘤に対して側開胸で手術が施行される症例で弓部大動脈遮断ができない場合には大腿動脈送血によるRCPが試みられることがある。大腿動静脈からカニューレションして人工心

肺を開始、そのまま超低体温へと移行して下行大動脈を遮断する。この時点より脱血量を調節して、CVPを20~25 mmHgへと維持する。肺動脈もしくは左房ベントを利用しながら、肺動脈への血流の脱血を適宜行う。大腿動脈からの送血量は1~1.5 l/min程度となる。この方法により下肢に送血された血液は、超低体温のため、ほとんど消費されずに高い酸素飽和度を維持した状態で上半身へと還流されることになる<sup>7)</sup>。このRCP法により弓部3分枝置換手術も可能となる(Fig. ②)。

### 3. 逆行性脳灌流による脳保護法の実際

前記したようにRCPは血液温18℃以下の超低体温での使用が原則となる。超低体温では、脳酸素消費量は常温時の10%程度まで低下する。したがって、CAであっても30分程度は酸素需給バランスが保持されることになり、RCPは少しでもこの状態を長く維持するための補助的手段と位置づけられる。

上大静脈にカニューレションした脱血管をテー

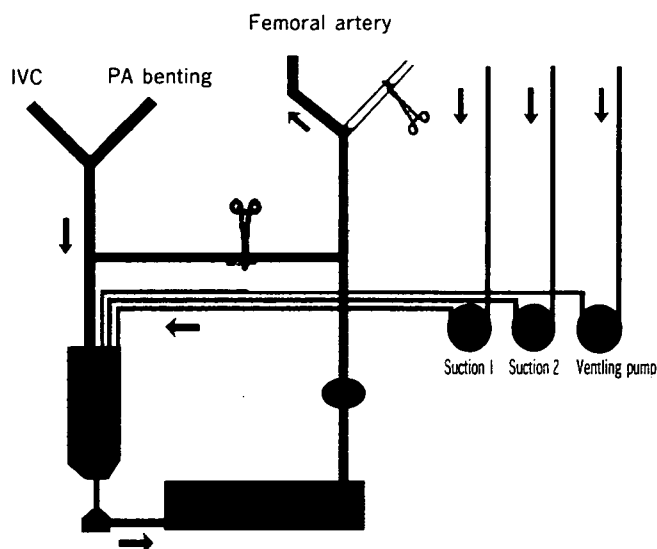


Fig. ② Modified retrograde cerebral perfusion is performed during distal aortic arch aneurysm surgery through the left thoracotomy. The SVC blood flow is returned from the IVC via the perfusion of the lower half of the body. PA : pulmonary artery.

ピング結紮して、 $10\sim 16^{\circ}\text{C}$  に冷却した血液を送血することになる。送血の方法としては、前記したように側臥位開胸手術で、下行大動脈を遮断した状態で大腿動脈から送血する症例もある。この方法でも酸素飽和度は95%以上維持された血液が脳灌流へと送血されることになる<sup>7)</sup>。

頸静脈弁の存在や静脈洞流出路の形状からRCPでは20~25 mmHg以上の灌流圧を維持する必要がある。脳内毛細血管での灌流圧が25 mmHg以上になると浮腫が起り重篤な状態になるとされているが、そのレベルでのモニタリングは不可能である。われわれは頸静脈球部へカテーテルを挿入することにより、静脈弁を越えた部位での圧を指標として灌流圧をコントロールしている。この方法によりある程度は静脈弁の問題は解決することになる<sup>8)</sup>。灌流圧25 mmHgを維持するのに必要な人工心肺からの灌流量は200~700 ml/min程度となる。

超低体温下RCPでの血中二酸化炭素濃度( $\text{Paco}_2$ )の管理として、pH-statを用いること

により有意に灌流量が増加するとされている<sup>9)</sup>。反面、脳浮腫などからか謔妄や高次機能低下が増加するとの報告もある。生理的な灌流を考慮すると $\alpha$ -statもしくは軽度 $\text{Paco}_2$ を増加させた管理のほうが無難なようである。

RCPのモニタリングとして経頭蓋的ドプラーの利用も報告されているが、高齢者や女性では側頭部からの計測が困難な症例も多い<sup>10)</sup>。眼底血流の測定も報告されているが連続性という点で欠点となる。簡便さという点では近赤外分光法(near infrared spectroscopy : NIRS)が、前額部に貼付するだけで連続測定が可能であり有用となる<sup>11)</sup>。SCPにおいて右腋窩動脈からの一側送血時などは左右前額部に装着することにより、左半球への血流維持確認も可能となる。ただし、NIRSは前額部という限られた部位にしか装着できないため、脳前頭葉全体の酸素化変化は把握できるが脳内局所の変化は測定できない。

NIRSによる測定では、超低体温単純循環遮断では酸素化へヘモグロビンの急激な低下がみられる

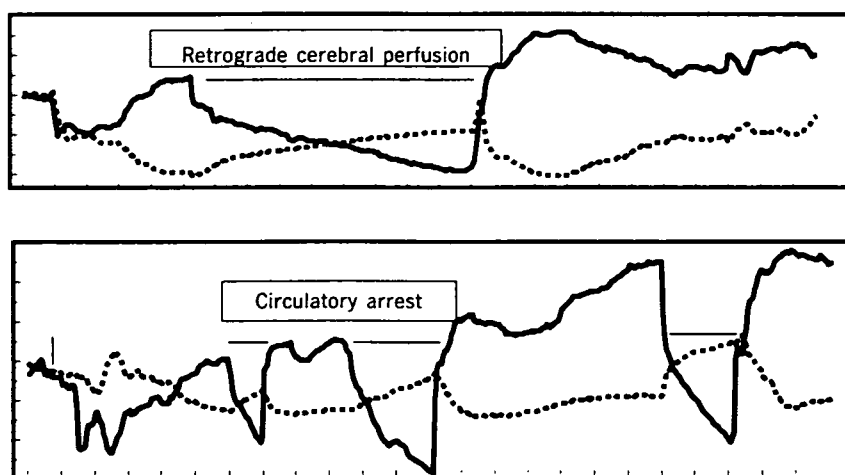


Fig. 3 Changes in oxyhemoglobin (continuous line) and deoxyhemoglobin (dot line) measured by near infrared spectroscopy. Upper frame showed gentle decreasing of oxyhemoglobin and increasing of deoxyhemoglobin during retrograde cerebral perfusion. Lower frame showed acute decreasing of oxyhemoglobin during simple circulatory arrest.

が、RCPでは緩徐な低下となる (Fig. 3)。この酸化ヘモグロビンの緩徐低下は45~60分間継続し、RCPを終了して通常の順行性灌流に戻すことにより回復がみられる。ただ、NIRSによるモニタリングは静脈系の影響が大きいとされている。静脈に灌流しているRCPで酸化ヘモグロビン増加がみられるのは当然であり、十分に毛細血管レベルでの灌流をモニターできているかどうかは判明していない。

3分枝の吻合が終了すると、RCPによりグラフ内を血液で充満させて空気や浮遊するdebrisを十分に洗い流して除去した後に順行性送血へと戻す。RCP中には左室内に空気が貯留することがあるため、左室、左房ベントにより十分除去することが重要となる。

#### 4. 逆行性脳灌流の問題点

RCPによる脳保護法では、術後に多くの症例で譫妄や脳障害を認めるという報告も多い<sup>4)</sup>。また、45~60分を越える長時間では脳障害の発症

率が上昇することも報告されている。RCPという非生理的な灌流により脳への血流が確実に維持されるかという大きな疑問となる。頸部静脈には逆流防止のための静脈弁が多く症例で見られること、脳内静脈洞へ逆流させるためには高灌流圧が必要となることなどもRCP血流維持に不利な点となる。実際にRCPで送血される量のうち、脳内を還流されるのは1~5%程度とされており、多くは上腕や奇静脈を介して下半身へと還流されている。

#### ■ 脳灌流量の絶対的不足

まずRCPによる灌流では実際に脳への血流が維持されているかどうかの問題がある。前記したように、CVP圧を20~25 mmHgとしている実際の臨床では、頸部動脈分枝から少量の血液灌流が観察される。私的な印象として、RCPによる灌流には症例ごとの個体差が大きいに感じられる。NIRSによる酸化ヘモグロビン低下の程度にも大きく個体差がみられ、低下速度が早い症例では脳灌流量が絶対的に少ないと考えられる。