

綜 説

脊髄機能と虚血傷害

山手 昇* 武井 裕 池下 正敏

聖マリアンナ医科大学外科学(心臓血管外科)

Spinal Cord Function and Ischemic Injury

Noboru Yamate, Hiroshi Takei and Masatoshi Ikeshita

Division of Cardiovascular Surgery, Department of Surgery, St. Marianna University School of Medicine

Key words: spinal cord ischemia, somatosensory evoked potential, aortic occlusion

はじめに

胸部大動脈瘤の術後に発生する対麻痺は、生命に直接かかわらないが、最も悲惨な合併症である。その予防手段は、以前から種々の方法が検討され、臨床応用されてきた。近年、対麻痺発生頻度は次第に減少してきたが、対麻痺を回避する手術術式と補助手段は、いまだ完成されておらず、未解決の問題を残している。

1. 発生頻度

胸部大動脈瘤手術1,500例以上施行したCrawfordの経験では、下肢の神経麻痺が16%に発生し、その約半数は完全対麻痺であった¹。病変が最も広範なCrawford分類II型胸腹部大動脈瘤手術の対麻痺発生率は31%であった。最近の脊髄虚血傷害の発生率は、Crawfordの成績より改善しているが、2.2~24%と施設によって差が見られる²。

一方、心臓手術単独で対麻痺を合併することはまれである³。急性大動脈解離の対麻痺発生率は約4%と報告されている。外傷性大動脈破裂における脊髄虚血傷害の発生率は低い。これは年齢が比較的若く、大動脈の基礎疾患を合併しないことに関係する。したがって、原因および術式の異なる心大血管手術の周術期に

発生する対麻痺と、慢性動脈瘤による手術で生じる成績とを同じ基準で考えることはできない。

また、腹部大動脈瘤では、血栓が脊髄動脈の側副血行路を閉塞した場合や破裂性で術中に著明な低血圧を合併した場合には対麻痺がおこりえる。

脊髄虚血の発生には、解剖学的関係、患者の臨床状態、外科医が行う治療の複雑さなど多くの因子が関係している。

2. 病因

(1) 解剖学的因子

脊髄の主な血液供給路は、1本の前脊髄動脈と2本の後脊髄動脈である。前脊髄動脈は前正中裂に沿って縦走し、その穿通枝を介して脊髄の前2/3に血液を供給している。後脊髄動脈は脊髄の後面両外側にあり、残りの脊髄後索に血液を供給している。脊髄動脈は個体変異のある固有の動脈から血液供給される。脊髄の頸部と上胸部は椎骨動脈より、胸腰部は肋間動脈と腰動脈を介して、円錐部は腸骨動脈から分節的に血液が供給される。

(2) 脊髄の循環

ヒトの脊髄循環には、2つの因子が関係している。第1は、前脊髄動脈の解剖学的連続性である。その内径と連続性は多様である。ヒトの前脊髄動脈は連続性でarteria radicularis magna: ARM(Adamkiewicz動脈)と交通する中枢側で狭くなっている。前脊髄動脈の直径は、ARMの接合する上下でそれぞれ $468 \pm 85 \mu\text{m}$ と $1120 \pm 140 \mu\text{m}$ である⁴。

第2は、ヒトの脊髄は脊髄根動脈から血液を供給されることである。ARMの起始部は一定しないが、脊髄への血液供給は、不連続な前脊髄動脈へ分節的に伸び

Corresponding to, Noboru Yamate M.D., Division of Cardiovascular Surgery, Department of Surgery, St. Marianna University School of Medicine, 2-16-1 Sugao, Miyamae-ku, Kawasaki 216-8511, Japan

*教授

Journal Website (n2.yamate@marianna-u.ac.jp)

Journal Website (http://www.nms.ac.jp/jnms/)

ている椎骨動脈, 肋間動脈, 腰動脈を介してされるとの報告もある⁵。脊髄根動脈は頸胸部に多いが, 中部胸部分節では1~2本である。通常, 上胸部の前脊髄動脈は発達しているため, 連続性であれば, 肋間動脈がすべて閉塞しても, 椎骨動脈や頸動脈から胸腰部の脊髄へ血液を供給しうる。胸腰部での1本の脊髄根動脈はAdamkiewicz動脈と呼ばれていて, その起始部はTh9~Th12に75~80%あり, Th12~L3より83.9%が起始していたとの報告もある⁴。

通常, 血管造影では, 前脊髄動脈は不連続で, 1本以上の肋間動脈が脊髄に血液を供給している。脊髄循環に関する解剖と生理については, いまだ意見の一致をみていない。

(3) 動脈疾患の影響

胸部大動脈瘤は, 解剖学的変異に加えて, 動脈壁の退行性変化, 壁内血栓, 肋間動脈の閉塞などにより側副血行路を形成している。さらに, 前脊髄動脈が連続している場合には, 脊髄虚血傷害の危険性は少ない。

急性大動脈解離では, 多数の肋間動脈が突然離断または閉塞されるので, 対麻痺は約4%に発生する。脊髄虚血傷害の発生が少ない理由は, ①前脊髄動脈は連続性である。②Adamkiewicz動脈はTh8まで起始することが少ない。③鎖骨下動脈から内胸動脈を介して, 肋間動脈 脊髄根動脈に至る側副血行路がある。④臨床的に高血圧がみられることなどである。

一方, 慢性解離性動脈瘤では, 偽腔外側に動脈瘤化病変を形成する。多くの肋間動脈は狭く圧迫された真腔から起始しているが, 閉塞して脊髄虚血を起こすことは少ない。

(4) その他

遅延性神経傷害が周術期の低血圧に関連して起こることは, 術後の脊髄への血液供給が分節動脈と側副血行との間に微妙なバランスがあることを示している。胸部大動脈瘤の手術後に適正な灌流圧を維持できれば, 遅延性神経傷害の発生は抑制されると考えられる。

すなわち, 上半身の高血圧, 脳脊髄液圧の上昇, 下半身の低血圧, 肋間動脈・腰動脈の血流遮断, 大動脈遮断時間, 大動脈病変の範囲, 緊急手術, 大動脈解離の存在などの病態が脊髄虚血傷害の発生にかかわっている²。

このように脊髄虚血傷害は多様な因子で発生する。その主な原因は, 脊髄への血液供給の中断である。しかし, 障害発生に重要なのは, ①最初におこる脊髄虚血, ②再灌流傷害, ③再灌流傷害に関連して続発する, のかは明確でない。そのため, 脊髄虚血傷害の発生を減少するための努力が, これらの多くの因子に向けら

れている。

3. 臨床的戦略

臨床的には, 多様な戦略と補助手段が脊髄虚血傷害を予防する目的で用いられている。その方法は, 主に2つに分けられる。

(1) 脊髄の循環維持と機能評価

1) 肋間動脈の部位診断

胸腹部大動脈瘤では, Adamkiewicz動脈が脊髄虚血の発生に重要な役割をはたす。Adamkiewicz動脈を術前に診断する目的で血管造影が行われ, 胸部大動脈瘤の約65%に証明される。しかし, 再建が必要な肋間動脈を術前同定することは困難である。したがって, 血管造影は一般に行われない。

2) 誘発電位モニター

脊髄は電位を導く経路として機能している。術中誘発電位モニターは, 大動脈遮断中の脊髄虚血変化を脊髄経路の機能として評価でき脊髄虚血の指標になる。体性感覚誘発電位 (Somatosensory Evoked Potential; SSEP) は末梢の感覚神経を刺激した時に大脳皮質に生じる誘発電位である。脊髄虚血の変化は潜時と電位によって評価する。刺激する電極が大動脈遮断部位より末梢の神経なので, 下肢の末梢神経障害や低体温, 麻酔などの影響を受ける。

脊髄誘発電位は, 特に硬膜外電極を用いて直接脊髄を刺激し誘発電位を測定する方法である。

(2) 脊髄保護法

脊髄虚血傷害は, 臨床的にショックでもまれにしかおこらない。このことは脊髄はある一定時間の低灌流に耐えられることを示唆している。胸部または胸腹部大動脈の手術では, 大動脈のバイパス法が第一選択である。単純遮断法は嚢状動脈瘤や外傷性大動脈破裂など, 短時間の大動脈遮断やバイパス法を使用したくない手術に用いられる。単純大動脈遮断での対麻痺の発生率は大動脈遮断時間と脳脊髄液圧とが重要であり, その発生率は2.2%である。このように脊髄虚血の時間が短くても対麻痺が発生するので, その発生には, 他の因子が関係している。胸部下行大動脈の修復に時間がかかり, 大動脈遮断時間が延長すると, 対麻痺発生率が増加するので, 脊髄保護が必要になる¹¹。胸腹部大動脈瘤の術中に脊髄虚血を予防する補助手段には, 外シャント法, 体外循環法, 低体温法, 心拍出量の増加, 高血圧, 肋間動脈の再建, 脳脊髄液ドレナージなどの予防法や各種薬剤が併用される¹⁶。

1) バイパス法

単純遮断法は今でも用いられるが, 多くは補助循環

と低体温法とを様々な組合わせて用いられている。Gott シャントチューブを用いた外シャント法(左鎖骨下動脈 大腿動脈シャント)は流量の調節機能がないので、流量調節ができる体外循環法が補助手段として多く用いられる^{8,12}。

単純遮断法では、大動脈遮断 40 分以後になると、対麻痺発生が著明に増加するので、その時点で補助手段が必要になる。外シャント法では、大動脈遮断時間の延長と脊髄灌流の維持を得られるが、バイパス流量は上半身の血管抵抗比とカニューレのサイズに依存するので、上半身が高血圧となって脳脊髄液圧が上昇する。

2) 肋間動脈の再建

術中にどの肋間動脈を再建するかを決定するのは重要な問題である。どのようにしてそれを決めるのが問題になる。肋間動脈再建の必要性は、術中の SSEP をモニターして評価される。大動脈遮断中に SSEP の電位が急速に消失する場合には、脊髄虚血傷害が増加する^{9,14}ので遮断部位の肋間動脈を再建する。

下部胸部肋間動脈を結紮切離した動物実験では、脊髄側の肋間動脈平均逆流圧が 35 mmHg 以上であれば、一般に脊髄虚血傷害はおこらない²。

3) 脳脊髄液ドレナージ

脳脊髄液圧の上昇は脊髄虚血傷害、特に遅延性神経傷害に関係する。Kazama らは、実験的に脳脊髄液圧を基準値の 4 倍に上昇させた時に、脊髄灌流傷害をきたすことを示した。このことは脳脊髄液ドレナージの理論的有効性の基準とされている。

脳脊髄液ドレナージは、脳脊髄液圧を 10 mmHg 以下に維持する単純で安全な方法である。単独か他の補助手段と組合わせて使用する。

胸部大動脈遮断中の脳脊髄液ドレナージは、脊髄虚血傷害を減少させ、脊髄低灌流の部位を囲むくも膜下腔の脊髄液圧も低下させる。

4) 低体温法

中枢神経の酸素需要量は、脊髄温度が 1℃ 低下する毎に 6~7% 減少する。低体温は神経の組織代謝を減少する二次的保護効果がある。その機序は膜の安定性と興奮性神経伝達物質の放出を抑制する。低体温は再灌流相に保護効果をもとめ、脊髄の循環が確立した後期に発生する浮腫を減少させる。

低体温法には、全身性と脊髄に限局する局所性がある。本法は胸部大動脈の手術管理に重要であるが、動脈瘤壁は動脈硬化のため肋間動脈を介して脊髄が効果的に冷却されるか疑われたが、最近では脊髄虚血傷害発生率は 3.4% と報告されている¹⁵。

限局性低体温法で最も一般的なのは、硬膜外冷却法である。これは冷却灌流液の注入速度と量を調節して、局所脊髄を中等度低温(26~28℃)にする方法である。利点は他の方法による合併症が避けられることである。一方、灌流液の硬膜外注入は脳脊髄液圧を上昇させるので、技術的制限がある。硬膜外灌流法を使用した Crawford 分類 I, II, III 型胸腹部大動脈瘤の切除後では、神経傷害が 3% に減少した¹³。

5) 薬剤

作用機序によって、①非特異的神経保護薬には、ステロイド、血管拡張薬¹⁶、バルビツレートなどがある。血管拡張薬は側副血行を増加して、脊髄虚血を予防する。②興奮性神経伝達物質阻害薬には、ナロキソン、カルシウム拮抗薬などがある。脊髄刺激性エンドルフィン神経虚血傷害を増強する。ナロキソンは低酸素時に遊離するエンドルフィンを抑制する。③酸素遊離基補足剤(oxygen free radical scavenger)は、再灌流傷害のカスケードに働く。④アデノシンは虚血中の脊髄の代謝と電気活動をさらに抑制し、低体温の効果を増強する⁶。

おわりに

脊髄虚血傷害は、胸部および胸腹部大動脈瘤の手術に常に合併する可能性がある。その予防のためには、術前の十分な計画と準備が必要であり、周術期に複数のモニターを併用して患者管理をすることが重要である。緊急手術では、脊髄虚血傷害を合併する危険性が高くなり、特に注意を要する。

文 献

1. Svenson LG, Crawford ES, Hess KR, Coselli JS, Safi HJ: Experience with 1509 Patients Undergoing Thoracoabdominal Aortic Operations. *J Vasc Surg* 1993; 17: 357-370.
2. Killen DA, Weinstein CL, Reed WA: Reversal of Spinal Cord Ischemia Resulting from Aortic Dissection. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2000; 119: 1049-1052.
3. Wong C: Paraplegia after Coronary Artery Bypass Operations: Relationship to Severe Hypertension and Vascular Disease. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2000; 119: 1295-1296.
4. Biglioli P, Spirito R, Roberto M, Grillo F, Cannata A, Parolari A: The Anterior Spinal Artery: The Main Arterial Supply of The Human Spinal Cord: A Preliminary Anatomical Study. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2000; 119: 376-379.
5. Gharagozloo F, Larson J, Dausmann MJ, Neville RF, Gomes MN: Spinal Cord Protection during Surgical Procedures on The Descending Thoracic and Thoracoabdominal Aorta. *Chest* 1996; 109: 799-809.

- 6 . Cambria RP, Davison JK, Zannetti S, Italien GL, Brewster DC, Gertler JP, Moncure AC, LaMuraglia GM, Abbott WM: Clinical Experience with Epidural Cooling for Spinal Cord Protection During Thoracic and Thoracoabdominal Aneurysm Repair. *J Vasc Surg* 1997; 25: 234-243.
- 7 . Griep RB, Ergen MA, Galla JD, Lansman S, Kahn N, Quintana C, McCollough J, Bodian C: Looking for The Artery of Adamkiewicz: A Quest to Minimize Paraplegia after Operations for Aneurysm of The Descending Thoracic and Thoracoabdominal Aorta. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1996; 112: 1202-1215.
- 8 . 川田忠典, 三枝 隆, 阿部裕之, 鎌田 聡, 日向三郎, 岡田忠彦, 山手 昇: 遠心ポンプを用いたヘパリン非投与下バイパス法の安全性について. *胸部外科* 1989; 42: 120-123.
- 9 . Laschinger JC, Cunningham JN, Jr, Catinella FP, Nathan IM, Knopp EA, Spencer FC: Detection and Prevention of Intraoperative Spinal Cord Ischemia after Cross-Clamping of The Thoracic Aorta: Use of Somatosensory Evoked Potentials. *Surgery* 1982; 92: 1109-1117.
- 10 . Borst HG, Jurmann M, Buehner B, Lass J: Risk of Replacement of Desending Aorta with a Standardized Left Heart Bypass Technique. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1994; 107: 126-133.
- 11 . Schepens MAAM, Defauw JJAM, Hamerlijck RPHM, Geest RD, Vermeulen FEE: Surgical Treatment of Thoracoabdominal Aortic Aneurysms by Simple Cross-Clamping Risk Factors and Late Results. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1994; 107: 134-142.
- 12 . Robertazzi RR, Acinapura AJ: The Efficacy of Left Atrial to Femoral Artery Bypass in the Prevention of Spinal Cord Ischemia During Aortic Surgery. *Seminars in Thorac and Cardiovascular Surg* 1998; 10: 67-71.
- 13 . Cambria RP, Davison K: Regional Hypothermia for Prevention of Spinal Cord Ischemic Complications after Thoracoabdominal Aortic Surgery: Experience with Epidural Cooling. *Seminars in Thorac and Cardiovascular Surg* 1998; 10: 61-65.
- 14 . Robertazzi RR, Cunningham JN Jr: Monitoring of Somatosensory Evoked Potentials: Aprimer on the Intraoperative Detection of Spinal Cord Ischemia During Aortic Reconstructive Surgery. *Seminars in Thorac and Cardiovascular Surg* 1998; 10: 11-17.
- 15 . Rokkas CK, Kouchoukos NT: Profound Hypothermia for Spinal Cord Protection in Operations on The Descending Thoracic and Thoracoabdominal Aorta. *Seminars in Thorac and Cardiovascular Surg* 1998; 10: 57-60.
- 16 . Robertazzi RR, Cunningham JN, Jr: Intraoperative Adjuncts of Spinal Cord Protection. *Seminars in Thorac and Cardiovascular Surg* 1998; 10: 29-34.

(受付 : 2001 年 2 月 13 日)

(受理 : 2001 年 2 月 22 日)