胸部大動脈Extra-anatomic bypassの病態生理に関する実験的研究：血栓曠置の条件と脊髄血行への影響について

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2017-10-04 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/2297/9061

金沢大学十全医学会雑誌　第92巻　第2号　269－284　(1983)

胸部大動脈 Extra-anatomic bypass の病態生理に関する実験的研究

－血栓嚢置の条件と脊髄血行への影響について－

金沢大学医学部外科学第一講座（主任：岩　喬教授）
藤野茂樹

（昭和58年2月15日受付）

胸部下行大動脈瘤に対する extra-anatomic bypass 術の有効性と限界を，雑種成犬を使って実験的に検討した．extra-anatomic bypass は，種々の口径の人工血管を用いて，上行大動脈と腎下部腹部大動脈の間に作成した．この際不完全嚢置法と完全嚢置法を施行した．即ち，前者では下行大動脈の近位端のみ遮断し，後者では近位端と遠位端の両側を遮断した．得られた病態生理学的結果は次の通りである．バイパスに使用する人工血管は，心臓への負荷を防ぐためには，上行大動脈径の60%以上の口径が必要であった．大動脈内血流逆行による腹腔内諸臓器動脈の血流量への影響は，軽度であった．不完全嚢置法では，肋間動脈の閉塞がない限り，thromboexclusion は生じなかった．一方，完全嚢置法では，嚢置部の thrombo-exclusion は早期に生じた．これらの実験では，血圧が正常に維持されていたので，実験犬には，全例対麻痺は認められなかった．しかしながら，意図的に血圧を下げた例では，脊髄に種々の病態生理学的変化を生じた．完全嚢置時，脊髄血行の autoregulation 機構は，狭範囲（4椎体）嚢置では，嚢置部内圧 40 mmHg 以下で，広範囲（10椎体）嚢置では，60 mmHg 以下で破綻した．またこの時，硬膜外誘発脊髄電位と脊髄組織血流量には，相関関係が認められ，脊髄電位の50%以上の急激な低下は，脊髄の高度虚血を示した．以上の研究結果から，人工血管の口径，肋間動脈の開存，体血圧，及び誘発脊髄電位の変化が，胸部大動脈に対する extra-anatomic bypass 術を施行する際に，最も重要な因子となるとの結論を得た．

Key words　Thoracic aneurysm, Extra-anatomic bypass, Hemodynamics, Thromboexclusion, Spinal cord monitoring

近年，胸部大動脈瘤に対する手術療法の進歩はめざましく，70～80%[1)~4)]の成功率が報告されるようになった．しかし，未だに手術の困難な症例にしばしば直面する．即ち，(1)炎症性大動脈瘤では，病変部付近での人工血管吻合は縫合不全の危険がある．(2)大動脈の石灰化が高度で広範囲の場合，吻合が困難である[5)]．(3)破裂性大動脈瘤や巨大大動脈瘤では，胸腔内操作が困難な場合がある[5)]．(4)全身状態不良例では，ヘパリンの使用や開胸操作が危険な場合がある[5)]．(5)感染による人工血管の縫合不全の場合，同一部位での人工血管置換は再感染の危険がある[6)~8)]．

このような場合，健常な大動脈間にバイパスを置き，病変部を嚢置させる方法が行われるようになった．この方法には2種類あり，第1法は，バイパス後，病変の近位側と遠位側の両方を遮断し，病変部を完全嚢置する術式で，Shumacker ら[9)]による報告が最初と思われ，嚢置部大動脈は次第に血栓で閉塞するものと考えられている[10)]．しかし，実際に血栓閉塞が起こるのか，また，嚢置可能な範囲，さらにその時の脊髄病態生理など解決されるべき問題が残っている．次に，嚢置バイパス術の第2法とは Carpentier ら[11)]により提唱されたもので，DeBakey III型解離性大動脈瘤に対し，バイパス後，病変部の近位側のみを遮断すると，解離腔を含む胸部大動脈は腹部大動脈からの血流逆行により，次第に血栓閉塞するとしている．しかし，この術式で，常に血栓閉塞が起こるか，また血栓閉塞を促進または

Experimental Study on Pathophysiological Changes induced by Extra-anatomic Bypass of Thoracic Aorta. **Shigeki Fujino,** Department of Surgery (I), (Director: Prof. T. Iwa), School of Medicine, Kanazawa University.

阻止する因子，さらに血流逆行による腹部臓器への影響，適正な人工血管口径などの問題点が残されている．

著者は，以上2種類の extra-anatomic bypass 術の有効性と限界，そして，より安全な適応を確立する目的で，雑種成犬を用い，extra-anatomic bypass 術を行ない，血流逆行の生理を電磁流量計を用いて測定し，また脊髄の病態生理を硬膜外誘発脊髄電位及び水素クリアランス法を用いて検討した．さらに大動脈手術時の脊髄モニタリング法の確立をも企図した．

対象及び方法

I．**使用動物　雑種成犬 82 頭（15 kg～25 kg）を用いた．**

II．**実験方法及び実験群**（図1）

1．不完全嚢置群—Carpentier 法群—（以下 A 群とする）

A_1群：7頭を用い，バイパス後の血行動態の変化を検討する目的で行った．ペントバルビタール（pentobarbital）25 mg/kg 静注後，気管内挿管し Harvard respirator に接続した．両側開胸，腹部正中切開後，上行大動脈に直径 8 mm の人工血管を端側吻合後，横隔膜を貫通させ，腎下部腹部大動脈に端側吻合した．次に左鎖骨下動脈直下で，大動脈を遮断した．

A_2群：13 頭を用い，A_1群と同様の手術を直径 12 mm の人工血管を用いて行った．

A_3群：6頭を用い，肋間動脈開存が thromboexclusion に与える影響を検討する目的で行った．ペントバルビタール 25 mg/kg 静注後，パンクロニウムブロマイド（pancronium bromide）で非動化させ，GOF 麻酔で管理した．左開胸，腹部正中切開後，弓部大動脈と腎下部腹部大動脈を直径 12 mm の人工血管でバイパスし，左鎖骨下動脈直下で，松田医科工業製パーマネン

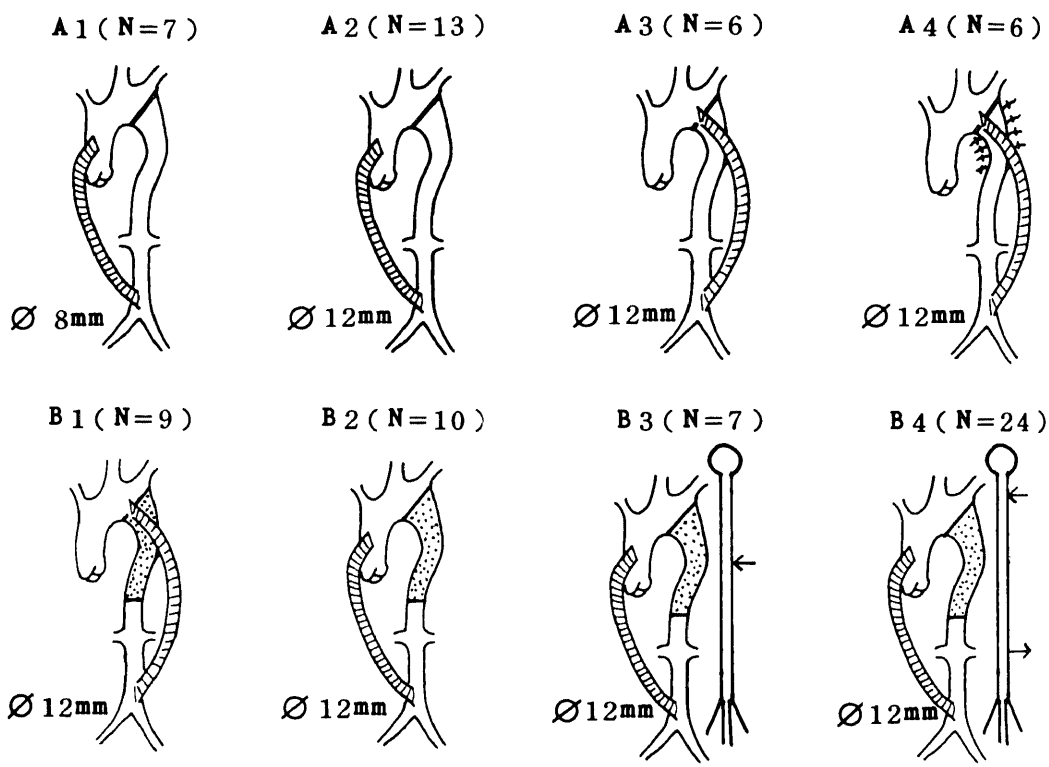


Fig. 1. Schematic illustration of extra-anatomic bypasses in each group. A1, A2, B2-4, group underwent extra-anatomic bypass from ascending aorta to infrarenal abdominal aorta. A3, A4, B1, from aortic arch to infrarenal abdominal aorta. In experiment A4, four-paired intercostal arteries were ligated. In experiments A1-4, permanent aortic clamp was placed under left subclavian artery. In experiments B1-4, the thoracic aorta was excluded with two permanent aortic clamps. Arrow in B3 indicates an electrode for recording blood flow in spinal cord. Arrows in B4 indicate electrodes for recording evoked electrospinogram. ϕ-number in each figure represents diameter of the prosthesis.

トアオルティックククランプを用いて大動脈を遮断した．

A_4群：6頭を用い，肋間動脈の閉塞が thrombo-exclusion に与える影響を検討する目的で行った．A_3群と同様の手術後，近位側の肋間動脈を4対だけ結紮した．

2．完全嚢置群（以下B群とする）

B_1群：9頭を用い，胸部大動脈嚢置後，実際に血栓閉塞が起こるかどうか，嚢置範囲と臨床的脊髄障害の関係を検討する目的で行った．A_3群と同様の手術後，嚢置範囲が4椎体（3頭），6椎体（2頭），8椎体（2頭），10椎体（2頭）となるように遠位側を遮断した．

B_2群：10頭を用い，大動脈嚢置後の側副血行能力を検討する目的で行った．A_2群と同様の手術後，胸部大動脈遠位側も遮断し，完全嚢置とした．なお，この際，嚢置範囲を実験目的に応じて適当に変えることとした．

B_3群：7頭を用い，胸部大動脈嚢置後，対応する脊髄の組織血流の変化を検討する目的で行った．ペントバルビタール 20 mg/kg 1回静注後，パンクロニウムブロマイドで非動化させ，room air で管理した．時々，動脈血ガス分析を行い，PO_2（酸素分圧）を90～110，PCO_2（二酸化炭素分圧）を35～45 mmHg の定常状態を保った．胸椎の椎弓切除後，脊髄を露出させ，B_2群と同様の手術後，実験目的に応じて4椎体嚢置，あるいは10椎体嚢置を行った．

B_4群：24頭を用い，胸部大動脈嚢置後，対応する脊髄の神経伝導の変化を検討する目的で行った．ペントバルビタール 20 mg/kg を1回静注後，Harvard respirator に接続，パンクロニウムブロマイドで非動化し，room air で管理した．直腸温を37°C前後に維持し，以後薬物は一切使用しなかった．椎弓を一部切除後，硬膜を露出させ，次に B_2群と同様の手術を行い，嚢置範囲が4，6，8，10椎体となるように遠位側を遮断，さらに大腿動静脈にカニューレを入れ，点滴瓶につないだ．以上それぞれ6頭，計24頭を使用した．

III．測定項目，及び側定方法

A_1群：術前と術後の頸動脈圧，大腿動脈圧の変化を日本光電社製多用途監視記録装置を用いて測定，また，頸動脈，大腿動脈血流量の変化を日本光電社製電磁流量計を用いて測定した．

A_2群：術前と術後の頸動脈圧，大腿動脈圧の変化，また，血流が順向性か逆行性かによって胸部大動脈内，及び腹部大動脈内の血流量が変わるかどうかをみた．また，頸動脈，大腿動脈，肝動脈，上腸間膜動脈，腎動脈の血流量の変化を検討した．

A_3群：手術後，ケージに固定，3日間点滴を行い，その間必要に応じて輸血し，血圧低下を防ぎ，2週～2ケ月後に血管造影を行った．対麻痺の有無を検討した後，犠牲死させ，血栓形成の有無を検討した．

A_4群：A_2群と同様に管理した後，2週間で犠牲死させ，血栓形成の有無を検討した．

B_1群：A_2群と同様に手術後，ケージに固定し，2～16日後に解剖し，血栓形成の有無と臨床的及び顕微鏡的脊髄障害の有無について観察した．また，犠牲死させる前に血管造影を行い，側副血行の由来を検討した．

B_2群：手術後，嚢置部大動脈内圧の経時的変化を1時間記録し，また内胸動脈の側副血行に果たす役割を，その起始部と腹壁移行部で結紮して検討した．さらに，嚢置範囲と内圧の関係を4，6，8，10椎体嚢置においてそれぞれ検討した．また，ドパミン（dopamin）を5～10 γ/kg/min の速度で注入し，薬物負荷の影響も調べた．

B_3群：嚢置大動脈に対応する脊髄の中点に測定用白金電極を刺し，UNIQUE MEDICAL 社製 PHG 201 水素クリアランス式組織血流計にて脊髄組織血流を測定した．その際，水素濃度は約10%とし，2～3分吸入させた．また大動脈嚢置範囲を4椎体，10椎体と変え，それぞれの場合において，体血圧，嚢置部内圧を低下させて血流の変化を検討した．なお，4椎体嚢置を測定後，約1時間経過してから10椎体嚢置を測定した．また，10椎体嚢置時において，脊髄組織血流量と B_4群の実験で用いる硬膜外誘発脊髄電位との関係も記録した．さらにその後，脊髄標本を作成し，連続切片で測定用電極が白質に刺さっていることを確認した．

B_4群：嚢置大動脈に対応する脊髄をはさむように，刺激電極を頸部脊髄の硬膜外正中に，記録電極を腰部脊髄クモ膜下腔正中に置き，また，不関電極は両者の中間の皮下に置いた．誘発脊髄電位測定装置は，日本光電社製の刺激装置，増幅装置，加算平均装置（ATAC

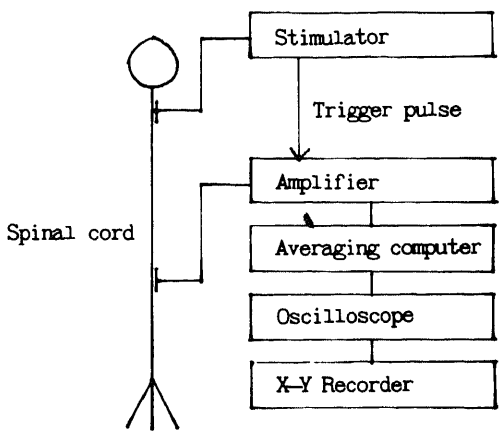


Fig. 2. Schematic layout of measurement of evoked electrospinogram.

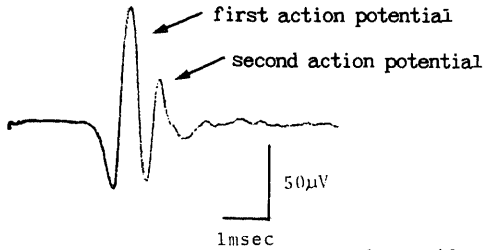


Fig. 3. Evoked electrospinogram by epidural stimulation.

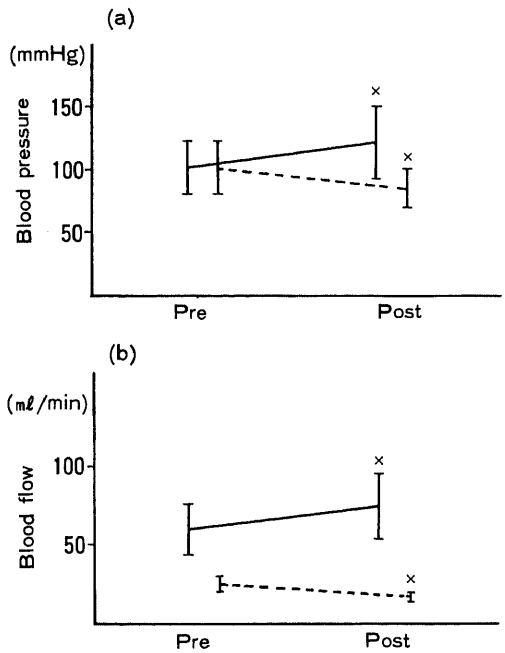


Fig. 4. Change of hemodynamics after extra-anatomic bypass in Al group. (a) Change of blood pressure. (b) Change of blood flow. ———, carotid artery ; ····· femoral artery. Pre : before bypass. Post : after bypass. ×p<0.01. Values are mean ± S. D. of 7 dogs.

210)，オッシロスコープ，記録装置からなり，刺激幅 0.3 msec，20 Hz，15～30 V で，強さは閾値の約 2 倍とし，50 回加算した(図 2)．測定は点滴瓶を上下させ，大腿動脈からの脱血をコントロールし，必要に応じて大腿静脈から送血することによって，体血圧，嚢置大動脈内圧を一定とし，種々の嚢置範囲，及び嚢置部内圧にて，誘発脊髄電位の変化を 2 時間記録した．図 3 は典型的硬膜外誘発脊髄電位であり，本研究では第 1 電位，及び第 2 電位の変化を記録した．

成　　績

Ⅰ．人工血管口径の与える影響

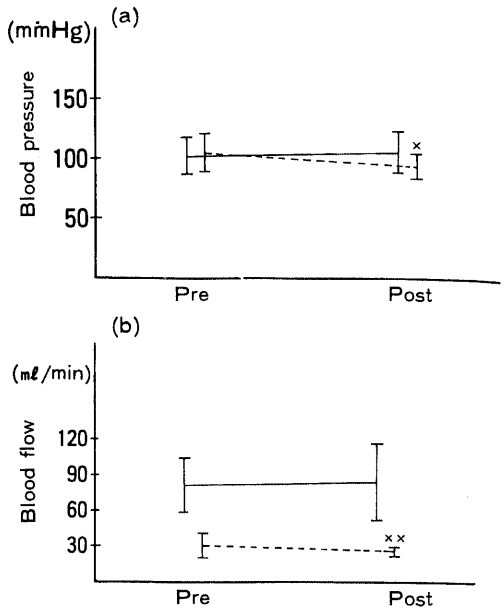


Fig. 5. Change of hemodynamics after extra-anatomic bypass in experiment A2 group. (a) Change of blood pressure. (b) Change of blood flow. ———, carotid artery ; ·····, femoral artery. ×p<0.05, ××p<0.10. Values are mean ± S. D. of 13 dogs.

使用した A_1群（7 頭），A_2群（13 頭）の上行大動脈径は 19～21 mm（平均 20 mm）であった．

1．8 mm 径人工血管使用群（A_1群）の血行動態

1）血圧の変化（図 4 a）

頸動脈収縮期圧は，術前 102±21 mmHg(Mean±S. D.以下すべて同様)に対し，術後 122±29 mmHg と約 20%の有意の上昇を認めた（P<0.01）．また，大腿動脈圧は，術前 102±21 mmHg に対し，術後 86±16 mmHg と約 16%の有意の低下を示した（P<0.01）．

2）頸動脈，大腿動脈血流量の変化（図 4 b）

頸動脈血流量は，術前 60±16 ml/min に対し，術後 75±21 ml/min と約 25%の有意の上昇を示した（P<0.01）．また，大腿動脈血流量は術前 25±5 ml/min に対し，術後 17±3 ml/min と約 32%の有意の低下を示した（P<0.01）．

以上，上行大動脈径の約 40%の口径をもつ人工血管を用いたならば，軽度の左心負荷は免れないことがわかった．

2．12 mm 径人工血管使用群（A_2群）の血行動態

1）血圧の変化（図 5 a）

頸動脈収縮期圧は，術前 102±15 mmHg に対し，術後 105±17 mmHg であり，有意差を認めなかった．し

かし，大腿動脈収縮期は，術前 104±16 mmHg に対し，術後 93±10 mmHg と約 10%の有意差を認めた（P<0.05）．

2）頸動脈，大腿動脈血流量の変化（図5 b）

頸動脈血流量は，術前 81±23 ml/min に対し，術後 84±32 ml/min と有意の差を認めなかった．また，大腿動脈血流量も，術前 30±10 ml/min に対し，術後 25±4 ml/min と有意差を認めなかった（P<0.10）．

以上，上行大動脈径の約 60%の口径をもつ人工血管を用いたならば，左心負荷はほとんどかからないことがわかった．

II．逆行性血流の与える影響（A_2群）

1．腹腔内臓動脈血流量の変化（図6）

腎動脈血流量は，術前 102±32 ml/min に対し，術後 92±24 ml/min であり，有意差を認めなかった．肝動脈血流量は，術前 105±40 ml/min に対し，術後は 92±29 ml/min であり，有意差を認めた（P<0.05）．また，上腸間膜動脈血流量は，術前 227±64 ml/min に対し，術後は 201±69 ml/min と顕著な有意差を認めた（P<0.01）．

2．大動脈内消費血流量の変化（図7）

胸部大動脈内消費血流量は，術前 228±81 ml/min に対し，術後 192±56 ml/min と有意差を認めなかった．腹部大動脈内消費血流量は，術前 841±381 ml/min に対し，術後は 926±249 ml/min であり，有意差を認めなかった．また，術前の下行大動脈起始部の血流量と術後のバイパスグラフト内血流量を比較してみると，それぞれ 1,326±329 ml/min，1,275±291 ml/min で有意差を認めなかった．

3．バイパス後の大動脈各部位における血流量（図8）

バイパス後，グラフト吻合部直上の逆行性血流量は 1,119±256 ml/min であるが，横隔膜の高さにおける血流量は 193±56 ml/min と前者の約 17%にすぎなかった（P<0.01）．

III．慢性期の thromboexclusion

1．不完全嚢置群（肋間動脈非結紮—A_3群）

術後2ケ月後の血管造影では，バイパスグラフトは開存し，また，胸部大動脈の thromboexclusion は見られず，肋間動脈も開存している（図9）．また，同犬の胸部大動脈内には，肋間動脈のない遮断鉗子直下の盲端部に少量の血栓を認めたが，肋間動脈開存部以下では thromboexclusion は認められなかった．また，対麻痺もなかった．表1は6頭の結果を示しているが，全く血栓の存在しないものが3頭あり，これらの例では

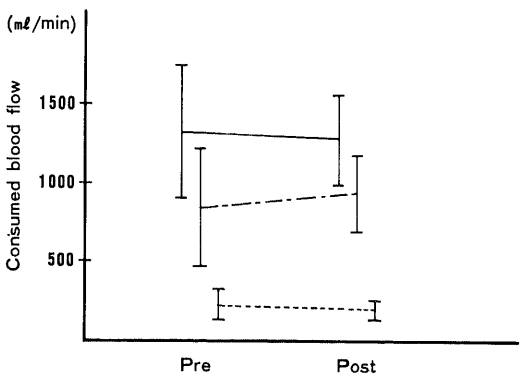


Fig. 7. Changes of blood flow consumed in each extent of the aorta in experiment A2 group. ——, thoracic and abdominal aorta; ------, abdominal aorta; ·····, thoracis aorta. Values are mean ± S. D. of 13 dogs.

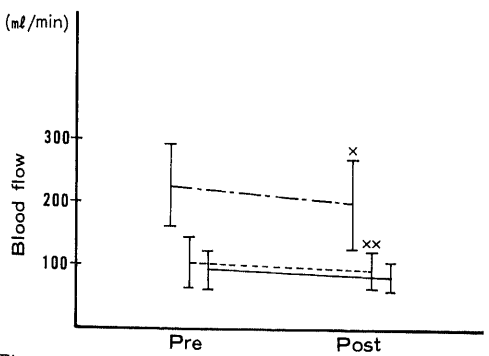


Fig. 6. Blood flow changes of abdominal viscera in experiment A2. -----, superior mesenteric artery; ·····, hepatic artery; ———, renal artery. Values are mean ± S. D. of 13 dogs. × p<0.01 ××p<0.05.

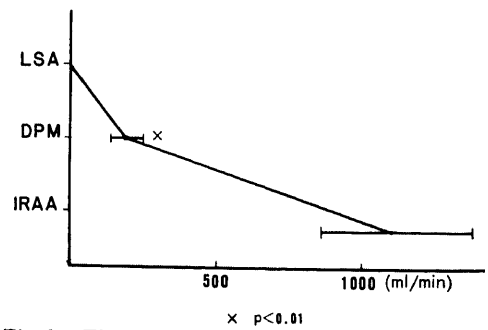


Fig. 8. The blood flow at each site of the aorta after extra-anatomic bypass in experiment A2 group. LSA, at the level of left subclavian artery; DPM, at the level of diaphragm; IRAA, at the level of infrarenal abdominal aorta. Values are mean ± S. D. of 13 dogs. ×p<0.01.

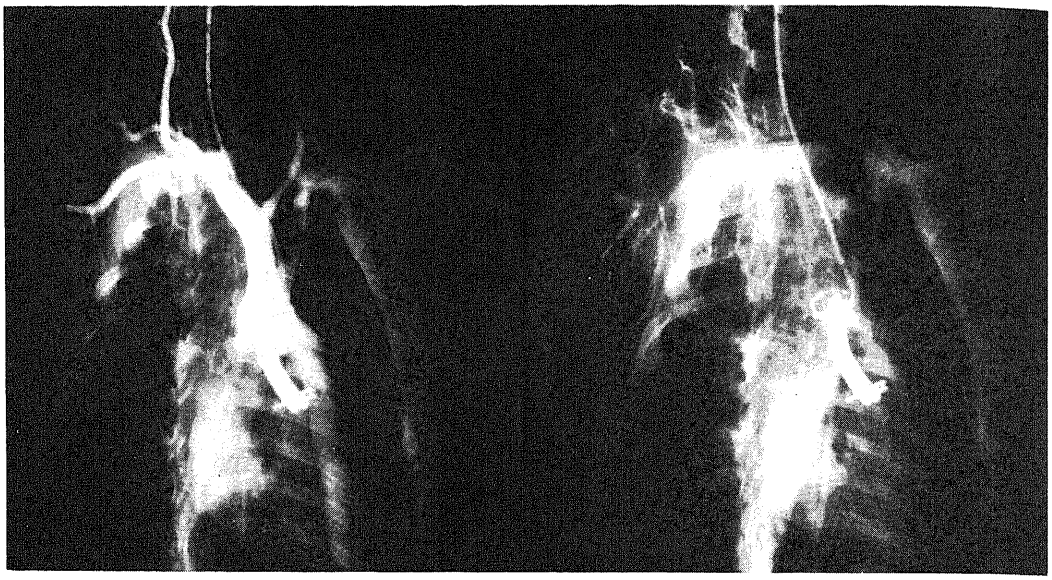


Fig. 9. Aortogram of No. 6 dog (A3 group) in Table 1. Left, Initial phase of aortogram. Right, Late phase showing flow reversal in the descending aorta.

Table 1. Gross finding of resected aortas in A3 group. Intercostal arteries were not ligated.

No.	Period (days)	Thrombus (cm)	Thromboexclusion
1	14	3	(−)
2	14	(−)	(−)
3	14	(−)	(−)
4	14	4	(−)
5	14	(−)	(−)
6	60	3	(−)

Table 2. Gross finding of resected aortas in A4 group. Proximal four-paired intercostal arteries were ligated.

No.	Period (days)	Thrombus (cm)	Thromboexclusion (cm)
1	14	13	5
2	14	18	8
3	14	11	5
4	14	16	6
5	14	17	7
6	14	14	6

すべて遮断鉗子が肋間動脈直上に位置していた．また，3例に3～4 cmの血栓を認めたが，これらはすべて遮断鉗子直下の盲端部にできたものであった．また，以上6頭にはいずれも対麻痺は認められなかった．

2．不完全嚢置群（肋間動脈4対結紮—A_4群）

肋間動脈4対結紮犬の2週間後の胸部大動脈にはthromboexclusionが認められた（図10）．しかし，このthromboexclusionは肋間動脈結紮部に限局しており，それ以下の肋間動脈開存部では，細長い一条の血栓が存在するのみであった．また，その他5頭の場合も同様に肋間動脈結紮部のみにthromboexclusionが認められた（表2）．また，対麻痺はすべて認められなかった．

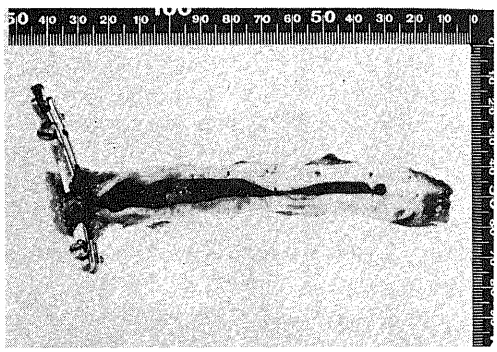


Fig. 10. Macroscopic view of resected aorta with thromboexclusion (A4 group, No. 3 in Table 2).

以上より，不完全嚢置術式（Carpentier法）では，肋間動脈の閉塞がない限りthromboexclusionは起きないことがわかった．

3．完全嚢置群（B_1群）

手術後10日目の血管造影では，人工血管の血行は良好で，嚢置部胸部大動脈は造影されなかった（図11）．また，腕頭動脈造影では，主に内胸動脈を介する血行によって，肋間動脈は嚢置部大動脈直前まで造影された（図12）．しかし，やはり嚢置部大動脈は造影されな

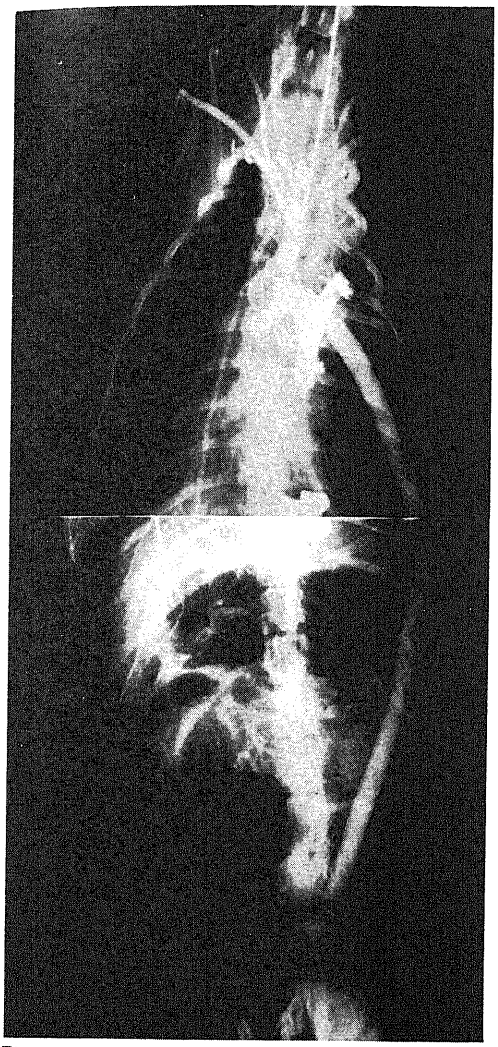


Fig. 11. Aortogram of No. 9 dog in Table 3 (Bl group).

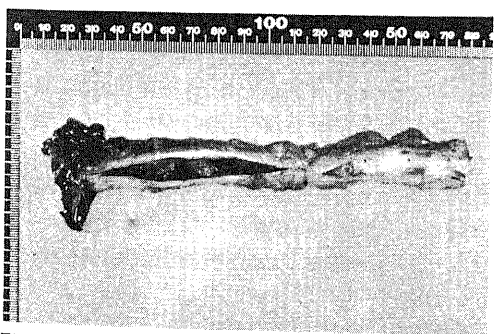


Fig. 13. Macroscopic view of resected aorta with thromboexclusion (B1 group, No. 9 in Table 3).

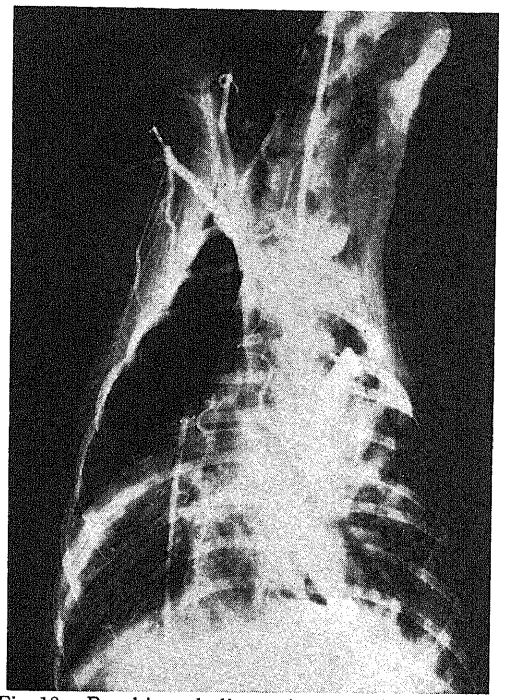


Fig. 12. Brachiocephalic angiogram of No. 9 dog in Table 3 (Bl group).

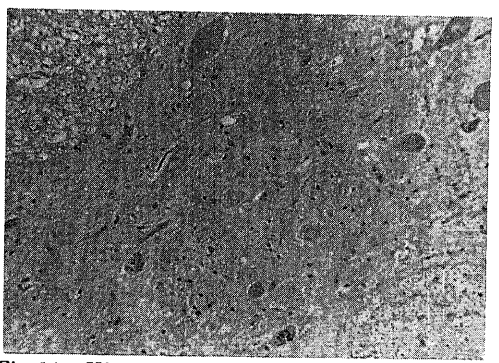


Fig. 14. Histological appearance of spinal cord in Bl group (H & E, 200, No. 9). Ischemic change is not seen in the anterior horn.

かった．造影後，犠牲死させ，嚢置部大動脈を摘出してみると，完全な血栓閉塞を認めた(図 13)．また，嚢置部大動脈に対応する脊髄の hematoxyline-eosine 染色標本でも ischemic change は認められなかった（図 14)．表 3 は完全嚢置群 (B_1群) 9 頭の結果である．10 日以上経過した 8 頭すべてに嚢置部の血栓閉塞を認めた．また，対麻痺は 1 例も見られなかった．さらに，9 頭中 5 頭の脊髄の hematoxyline-eosine 染色標本でも ischemic change は認められなかった．

以上より，完全嚢置群では，嚢置部大動脈は早期に

Table 3. Gross finding of resected aortas in B1 group which underwent complete exclusion of thoracic aorta.

No.	Length of the excluded aorta (vertebrae length)	Period (days)	Thromboexclusion of the excluded aorta	Paraplegia	Ischemic change of the spine
1	4	2	(−)	(−)	
2	4	14	(+)	(−)	(−)
3	4	14	(+)	(−)	(−)
4	6	16	(+)	(−)	
5	6	14	(+)	(−)	(−)
6	8	14	(+)	(−)	
7	8	10	(+)	(−)	(−)
8	10	14	(+)	(−)	
9	10	10	(+)	(−)	(−)

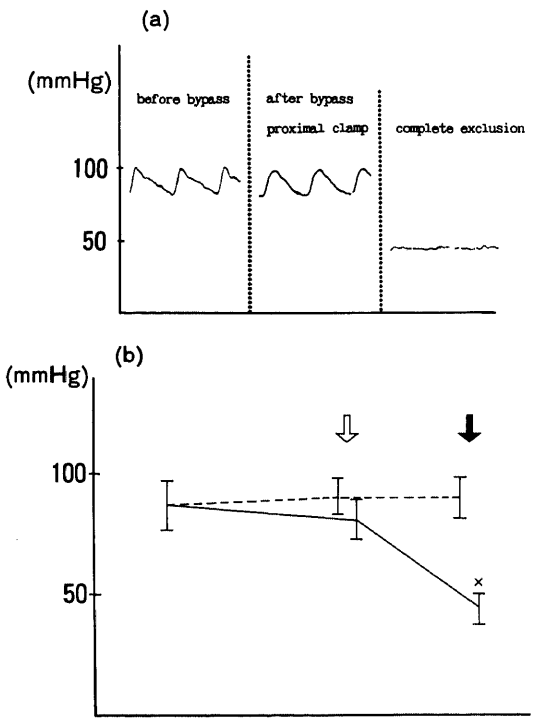


Fig. 15. Change of blood pressure after extra-anatomic bypass in B2 group. (a) Change of blood pressure wave in the thoracic aorta. (b) Change of blood pressure in the thoracic aorta. ⇦, cross clamp distal to the left subclavian artery; ←, complete exclusion in the thoracic aorta; ——, mean blood pressure in the thoracic aorta; ·····, mean blood pressure of the carotid artery. Values are mean ± S. D. of 10 dogs. ×p<0.01.

血栓閉塞し，また，脊髄障害は起きないことがわかった．

IV. 完全曠置群における病態生理の変化

1．血行動態の変化（B_2群）

1）胸部大動脈曠置前後の内圧変化（図 15）

大動脈バイパス後，左鎖骨下動脈直下で遮断鉗子をかけると，胸部大動脈内圧（中間圧）は 87±10 mmHg から 81±8 mmHg と低下し，さらに，横隔膜の高さで遮断鉗子を追加（約 6 椎体曠置）すると，胸部大動脈内の圧波形は拍動流から定常流へと変化し，内圧は 45±5 mmHg となった（P<0.01）．この時，平均体血圧は 90±8 mmHg である為，その比は約 0.5 であった．

2）曠置範囲と曠置部内圧の変化（図 16 a）

側副血行能力を示す曠置部内圧と平均体血圧の比は，4 椎体曠置では 50±5%，6 椎体では 50±6%，8 椎体では 50±7%，10 椎体では 50±6% と有意差はみられなかった．

3）側副血行能力の経時的変化（図 16 b）

6 椎体曠置時における曠置部内圧の平均体血圧に対する比(%)は，直後の 50±6% に対し，30 分後に 52±5%，60 分後には 56±6%（P<0.05）と上昇した．

4）内胸動脈の側副血行としての役割（図 17 a）

6 椎体曠置時における曠置部内圧の平均体血圧に対する比(%)は，内胸動脈結紮前の 50±7% に対し，結紮後は 43±6% と有意に低下した（P<0.01）．

5）ドパミン負荷による側副血行能力の変化（図 17 b）

6 椎体曠置時における曠置部内圧の平均体血圧に対する比(%)は，負荷前の 50±3% に対し，負荷後は 62±5% と有意に上昇した（P<0.01）．

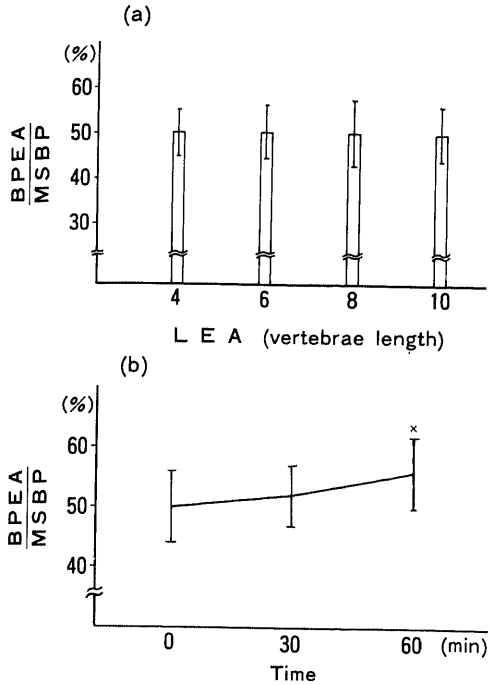


Fig. 16 Change of hemodynamics after complete exclusion of the aorta in B2 group. (a) Relation between LEA and BPEA/MSBP, (b) Change of BPEA/MSBP, BPEA: blood pressure in the excluded aorta, MSBP: mean systemic blood pressure, LEA: length of the excluded aorta. Values are mean ± S. D. of 10 dogs. ×p<0.05.

2．脊髄組織血流量の変化（B_3群）

4椎体曠置時の対応する脊髄白質の組織血流量は，曠置部内圧が60～40 mmHgでは手術前と同様で18±3 ml/min/100 gであったが，内圧が30 mmHgとなると10±5 ml/min/100 gと激減した．さらに内圧25 mmHgでは3 ±3 ml/min/100 gと極めて微量となった（図18）．

10椎体曠置時の対応する脊髄白質の組織血流量は，曠置部内圧が70～60 mmHgでは手術前と同一で，21±4 ml/min/100 gであったが，内圧50 mmHgとなると15±1 ml/min/100 gとなり，内圧30 mmHgでは3±0.8 ml/min/100 gと極めて微量となった（図19）．

次に，脊髄組織血流量と硬膜外誘発脊髄電位との関係（図20）を検討した．血流量に変化のない曠置部内圧70 mmHgにおける第1電位の振幅を基準とすると，内圧46 mmHgでは，血流量は12 ml/min/100 gと低下したが，誘発電位の振幅は約10%上昇した．しかし，さらに内圧が低下して33 mmHgとなった時，血流量は5 ml/min/100 gと低下し，振幅は約20%低下した．さ

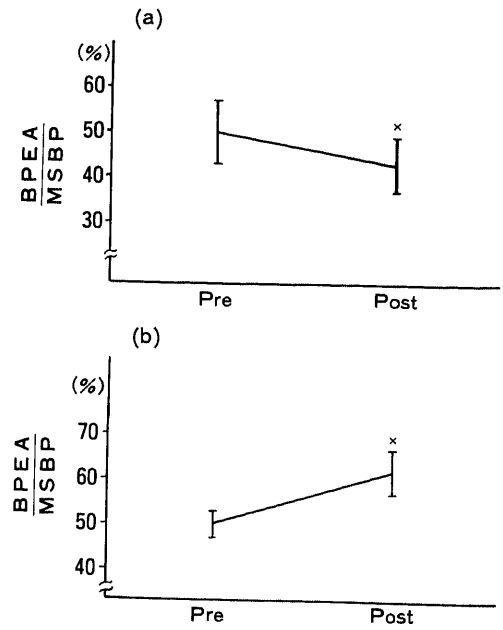


Fig. 17. Changes of BPEA/MSBP in B2 group. (a) Change after ligation of internal thoracic artery. (b) Effect of dopamin infusion. Values are mean ± S. D. of 10dogs. ×p<0.01

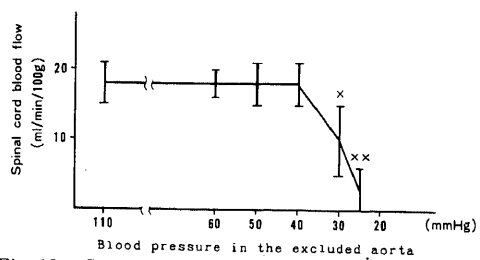


Fig. 18. Spinal cord blood flow in A3 group. Aortic exclusion for 4 vertebrae length. Values are mean ± S. D. of 7 dogs. ×p<0.01, ××p<0.01

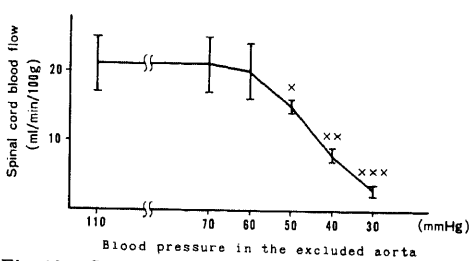


Fig. 19. Spinal cord blood flow in A3 group. Values are mean ± S. D. of 7 dogs. ×p<0.01, ××p<0.01, ×××p<0.01

らに内圧が23 mmHgとなった時，血流量は2 ml/min/100 gとなり，振幅は痕跡的となった．

以上より，脊髄血行は一定に維持されているが，4椎体嚢置では嚢置部内圧40～30 mmHgで，また，10椎体では60～50 mmHgでautoregulationが破綻することがわかった．また，脊髄血流が軽度低下した場合は，振幅の軽度上昇（augmentation）がみられるが，振幅の低下は血流が大幅に低下しないと起らなかった．また，血流がごく少量でもあれが，誘発電位は消失しなかった．しかし，誘発電位は，脊髄虚血をその振幅の変化で比較的よく表していた．

3．硬膜外誘発脊髄電位の変化（B_4群）

誘発脊髄電位は，嚢置範囲，嚢置部内圧，時間の3つの要素によって様々の変化を呈した．

1）誘発電位消失例（図21）

図は6椎体嚢置，嚢置部内圧22 mmHgの時，8分後に第1電位が60%，第2電位が70%減少，さらに15分後には共に消失したことを示している．このような電位消失例は，4椎体では内圧22 mmHg，6椎体では21及び22 mmHg，8椎体では27 mmHg，10椎体では25 mmHgで見られた．

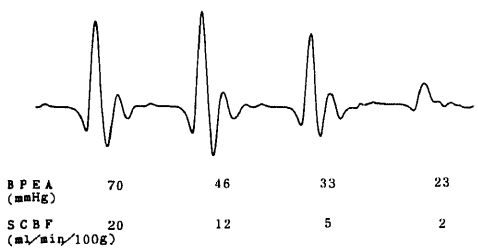


Fig. 20. Relation between spinal cord blood flow and evoked electrospinogram. BPEA: blood pressure in the excluded aorta, SCBF: spinal cord blood flow.

2）誘発電位の変化例（±10%以上）（図22）

図は8椎体嚢置，嚢置部内圧38 mmHgの時，60分後に第1，第2電位が共に10%減少，さらに120分後には共に30%減少したことを示している．このような±10%以上の振幅の変化は，4椎体では内圧25及び28 mmHg，6椎体では27及び34 mmHg，8椎体では24，32，38，60 mmHg，10椎体では26，28，40，50 mmHgで見られた．

3）誘発電位の不変例（±10%以内）（図23）

図は4椎体嚢置時，嚢置部内圧38 mmHgの時，2時間経過しても振幅に変化が起きなかったことを示している．このような例は，4椎体では38，40，44 mmHg，6椎体では38，47 mmHg，8椎体では42 mmHg，10椎体では47 mmHgで見られた．

4）誘発電位変化と嚢置範囲及び嚢置部内圧の関係

第1電位の場合（図24），消失例は嚢置範囲にかかわらず嚢置部内圧30 mmHg以下に集中しているが，変化例は嚢置範囲の広がりと共に広く散在し，8，10椎体嚢置では50～60 mmHgでも存在した．また，不変例は4，6椎体の範囲の嚢置では38 mmHg以上に存在していた．しかし，8，10椎体では内圧60 mmHg以下のところでは不変例と変化例が混在していた．第2電位の変化を同様にして記録すると図25のようになり，消

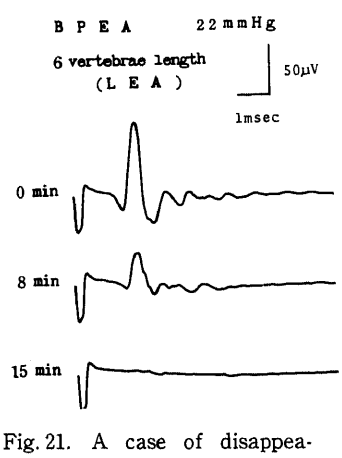


Fig. 21. A case of disappearance in the evoked electrospinogram. BPEA: blood pressure in the excluded aorta, LEA: length of the excluded aorta

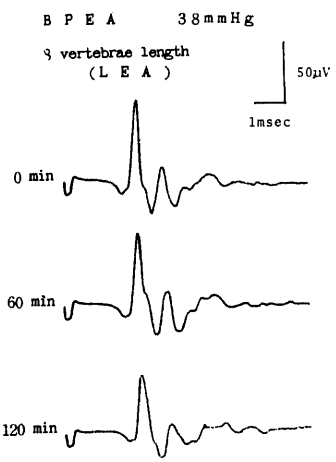


Fig. 22. A case of slight change in the evoked electrospinogram. BPEA: blood pressure in the excluded aorta, LEA: length of the excluded aorta.

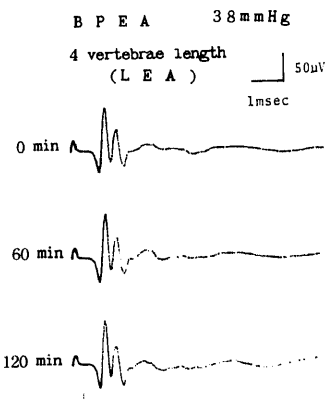


Fig.23. A case of unchanged evoked electrospinogram. BPEA: blood pressure in the excluded aorta, LEA: length of the excluded aorta.

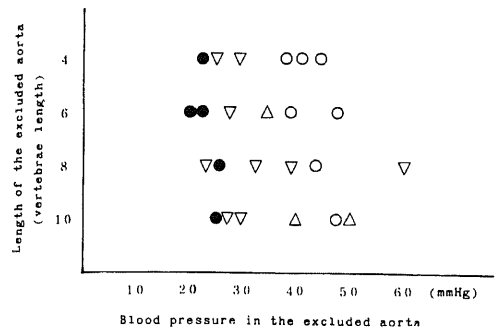


Fig. 24. Drift of first action potential in the evoked electrospinogram (EESG) in relation to length of the excluded aorta (LEA) and blood pressure in the excluded aorta (BPEA). EESG; ○ unchanged case (below 10%), △ changed case (above 10% △: up ▽: down), ● disappeared case.

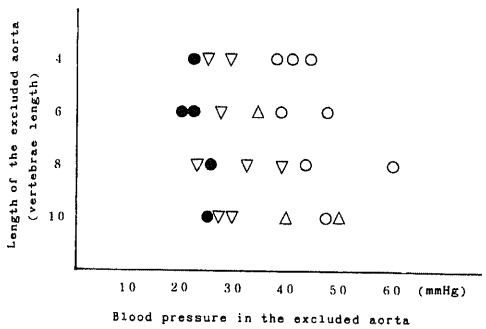


Fig. 25. Drift of second action potential in EESG in relation to LEA and BPEA. Abbreviations and symbols are same as shown in fig. 24.

失例，変化例，不変例は第1電位における分布と大差なかった．

以上より，4，6椎体嚢置では嚢置部内圧 38 mmHg 以下で神経活動電位の異常が起こるのに対し，8，10椎体では内圧 50～60 mmHg でも異常をきたす例があることがかわった．

5）誘発電位消失例における消失までの時間（図 26, 27）

消失例5例の第1電位の振幅の変化と時間をグラフにとってみると，嚢置部内圧 21～22 mmHg を示した3例は10分後に約 70%の振幅低下を示し，15分後に消失した．また，内圧 25～27 mmHg を示した2例は20分後に約 60%の低下を示し，30分前後で消失した．また，第2電位でもほぼ同様に消失しているが，嚢置部内圧と振幅の変化は第1電位ほど明白ではなかった．

以上より，消失例は20分以内に 50%以上の大幅な振幅の低下をきたしていることがわかった．また，第2電位より第1電位の方が，嚢置部内圧に比例して変化

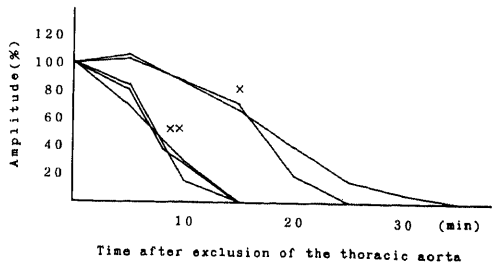


Fig. 26. Relation between amplitude changes of first action potential in the evoked electrospinogram and time after exclusion of the thoracic aorta. Blood pressure in the excluded aorta; ×25～27 mmHg, ××21～22 mmHg

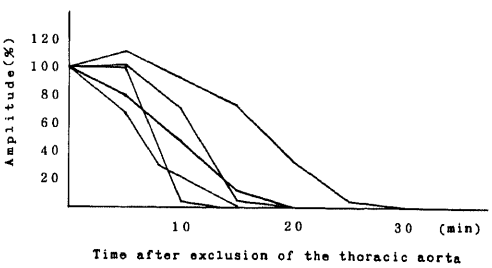


Fig. 27. Relation between amplitude changes of second action potential in the evoked electrospinogram and time after exclusion of the thoracic aorta.

した．

考　　察

上行大動脈一腹部大動脈永久バイパス術時のバイパス径に関する報告は見当たらない．バイパスグラフト径が生体にとって細いものであるならば，左心に負荷がかかり，また，腹腔内臓への血流量も低下する[12]．このうち，左心負荷の問題は特に重要で，軽度であっても遠隔期には心肥大から心不全へと発展する可能性があり，十分な検討が必要である．阿部[13]は 12 mm と 10 mm の2本の人工血管を使用して 16 mmHg の圧較差を，また，Robinson[14]は 14 mm の人工血管で 25 mmHg の圧較差を生じたと報告している．これに対し，川田[6]は 16～18 mm の人工血管を使用し，上下肢の圧較差を生じなかったとしている．しかし，いずれも吻合部大動脈の直径との比率は記載されていない．この点について，著者の実験からは，上行大動脈径の 60%以上の口径をもつ人工血管を用いることが望ましいと考えられた．

大動脈血流逆行が臓器血流量にどのような影響を与えるかは，人工心肺，特に大腿動脈送血法が考案され

た頃からの問題であった[15]．しかし，具体的な研究は見当たらない．上行大動脈一腎下部腹部大動脈バイパス術時に起きる血流逆行の問題は，高流量かつ拍動流である点で人工心肺使用下とは異なる．著者の実験では，上行大動脈径の約60%の径をもつ人工血管を使用した場合，手術後の胸部大動脈及び腹部大動脈内で消費される血流量は，術前と比較して有意の変化を示さなかった．この腹部主要血管の血流量は，腎動脈では有意の変化を示さなくても，肝動脈及び上腸間膜動脈では約10%の有意の低下を示し，特に上腸間膜動脈は顕著な有意差（$P<0.01$）を示した．このことは，腹部主要血管のすべてが，順行流に対して鋭角で分岐しており，特に上腸間膜動脈の分岐角度が鋭いことと関係しているものと考えられる．しかし，血流量低下が極めて少ないため，巨視的に血流逆行を検討するならば，臨床的には特に問題がないものと考えられた．

病変部大動脈を嚢置する場合，完全嚢置する場合も，Carpentier式に病変部近位側にのみ遮断鉤子をかける場合でも，病変部大動脈が血栓閉塞することが必要である．

Carpentier式の不完全嚢置術式では，Carpentierら[11)16)]が雑種成犬にDeBakey III型解離性大動脈瘤作成後，上行大動脈一腎下部腹部大動脈バイパスを行っている．その結果，左鎖骨下動脈直下で遮断する方法で，病変部大動脈の一部及び解離腔はthromboexclusionされたとし，また，臨床例でも有効であったと報告している．さらに，島津[17]も雑種成犬に同様の術式を行い，腹腔動脈直上までthromboexclusionされたと報告している．しかし，本邦における臨床例では血栓形成に関する確たる保証は得られていない[18]．著者の実験では，肋間動脈結紮群でのみ，その結紮部位に一致してthromboexclusionが得られたことから，それを左右する因子は肋間動脈閉塞の有無であると考える．したがって，方法を解離性大動脈瘤に施行する場合は，術前に大動脈造影で肋間動脈の閉塞を確認する必要があり，また，それができない場合は，バイパス後，病変部大動脈の肋間動脈を結紮する必要があると考えられた．

完全嚢置術式の場合，その嚢置部大動脈が血栓で閉塞することは諸家[5)6)19)]により報告されてきた．この術式については，著者の実験でも術後10～14日で8頭全例に嚢置部大動脈のthromboexclusionが認められ，この完全嚢置術式の確実性が証明された．

胸部大動脈が広範囲にわたってthromboexclusionされた時，脊髄への血行は，嚢置大動脈に対応した部分において，遮断もしくは低圧にさらされる．もし，この時脊髄障害が起きないならば，必ず脊髄への側副血行路が存在するはずである．著者の完全嚢置術式の慢性実験では，嚢置部大動脈に対応する脊髄は，内胸動脈などを中心とする側副血行によって栄養され，脊髄障害を免れることが証明された．しかも，この側副血行能力については，諸家[17)20)]の報告と同様で，約50%あり，さらに，術後，次第に発達していくことも証明された．

しかし，この程度の側副血行で，脊髄障害は常にさけられるものであろうか．川田[6]は大動脈嚢置バイパス術症例3例中1例に片麻痺を，伊藤[21]は同術式2例中1例に対麻痺が起きたことを報告している．これらは，側副血行の限界を示すものと思われる．これに対しCrawford[22]は広範囲胸腹部大動脈瘤にgraft inclusion techniqueを用い，2対だけ肋間動脈を再建し，対麻痺を11%におさえている．また，Spencer[23]は犬において左鎖骨下動脈とT_1～L_1までの肋間動脈及び腰動脈を結紮すると，すべて対麻痺をきたしたのに対し，T_7～T_{13}の間の肋間動脈を2対だけ残したところ，対麻痺は起こらなかったことから，2対の肋間動脈再建が，側副血行に及ぼす好影響を強調している．

以上より，大動脈嚢置後の側副血行が常に脊髄を保護できるものではなく，脊髄の病態生理そのものと，側副血行との関係を明らかにしなければ，臨床例における対麻痺予防はできないものと考えられる．

胸部大動脈を嚢置した時，対応する脊髄にどのような病態生理上の変化が起きるかは，極めて興味のある問題である．これは，大動脈人工血管置換時にgraft inclusion techniqueを用いた時の脊髄の病態とも類似している．

著者の実験では，大動脈を嚢置することにより，その部位の圧波形は高圧の拍動波形から低圧の定常波形に変わった．したがって，対応する脊髄も同様に高圧の拍動流から低圧の定常流による灌流へと変わるものと考えられる．では，嚢置部大動脈の内圧低下が対応する脊髄血流量低下にそのままつながるものであろうか．一般に，脊髄血行にはautoregulation機構の存在することが知られており，Kobrineら[24]はサルにおいて平均血圧50 mmHg～135 mmHgの間で働くことを報告し，また，Griffiths[25]はイヌにおいて60 mmHg～150 mmHgの間で作用するとしている．著者の実験では，狭範囲（4椎体）嚢置時の対応する脊髄白質の血流量は体血圧が正常に維持されている場合，すなわち嚢置部内圧が70～40 mmHgまでは術前と同様で，しかも，諸家[26)27)]の報告と同様の18 ml/min/100 gと一定に保たれていたが，内圧が40～30 mmHgの範囲で，すべての例で低下が見られた．ところが，広範囲（10椎体）嚢置では，このようなcritical blood pressureは50～60

mmHgの間にあり，両群のautoregulation機構に顕著な差が見られた．この相異を明らかにするには脊髄血行の解剖を検討する必要がある．解剖学的には3～10本の前根動脈が前脊髄動脈に吻合し，一般に頸部から腰部まで連続性が保たれている[28]．ただし，人間では胸部に不連続点があることがある[29]．普通は，それぞれの前根動脈の血流の支配領域は定っているが，一本の前根動脈が遮断されれば，前脊髄動脈の血流方向はそれを代償するように変わるとされている[30]．この為，胸部大動脈が曠置され，同部位の前根動脈血流量が低下しても，頸部あるいは腰部からの前脊髄動脈を経由する血流によってある程度代償されるものと考えられる．しかし，その代償能力にも限界があるため，このような相異が生じたものと考えられた．

大動脈曠置が脊髄の神経伝導にどのような影響を及ぼすかは，まったく知られていない．著者の硬膜外誘発脊髄電位による検討では，図24のように，神経活動電位が正常であることを示す誘発電位不変領域と，伝導異常を示す変化領域の境界は，狭範囲曠置では30～40 mmHg，広範囲曠置で50～60 mmHgにあり，前述した脊髄血行のautoregulationが破綻するcritical blood pressureにほぼ一致した．

以上，大動脈曠置後の病理生態の検討から，脊髄血行のautoregulation機構は曠置範囲の影響を受けやすいことが判明した．また脊髄虚血や神経活動電位異常は，狭範囲曠置では，曠置部内圧40 mmHg以上，広範囲曠置では，60 mmHg以上あれば生じないことがわかった．さらに，このことは血圧が正常に維持されたB_1群に対麻痺が生じなかったことの傍証となっていた．

今まで述べたきた脊髄病態生理の結果から，平均体血圧がわかれば曠置部内圧が予想でき，それによって曠置可能範囲も図24から，およそ判断できることになる．しかし，人間では最大の前根動脈であるAdamkiewicz arteryがT_7～L_5の間にあり，脊髄血行に対し，絶対ではないが大きな影響力をもっている[31]．しかも，その出現高位は極めて変化に富み，T_9にはいる例が最も多く，次いでT_8，T_{10}の順となる[28]．よって広範囲曠置では同血管を含んでしまう可能性が高く，また，含まれた場合，曠置部位に対応する脊髄への代償血行は大きな影響をうけることが予想される．したがって，人間では曠置可能範囲を術前に決定することは危険と考えられ，ここに術中脊髄モニターの必要性が生じる．

近年，脊椎，脊髄外科において，術中の脊髄機能を判断するために，種々の誘発電位を用いた方法の研究がすすめられている[32][33]．しかし，これらの方法にはそれぞれ長所，短所があり，すべて臨床応用できるわけではない．また，脊椎，脊髄外科における脊髄障害は主に脊髄そのものに対する圧迫や切離の機械的要素によって引き起こされる．これに対し，大動脈外科では，前根動脈の血流低下あるいは遮断という虚血性要素によって引き起こされるという大きな差があり，特別な検討を要する．

大動脈外科において，脊髄モニターとして臨床応用されるためには，以下の条件を備えていなければならない．①鋭敏性，②迅速性，③電位が大きく安定していること，④手技が安全で，しかも全身麻酔下で行え，かつ手術操作の妨げにならない，⑤脊髄障害を予測できること，などである．

著者が大動脈外科に導入した硬膜外誘発脊髄電位は，脊髄組織血流の変化とよく相関していることが判明した．また，1回の検査は1～2秒で行うことができ，しかも高度虚血は10分で，中等度～軽度虚血でも20分以内に迅速に判断でき，手術操作の変更も十分可能である．さらに第一電位は，薬物の影響を受けにくく安定している[34]．最近，著者[35]と相前後して，大動脈外科に誘発電位の導入を試みた報告がなされたが[36][37]，それは体性感覚誘発電位を用いるものである．この方法は，末梢神経を刺激し，そこで起きた活動電位が脊髄伝導路を上行して大脳皮質に達したところをとらえている．したがって，大脳に達するまでに2回のsynapseを経由するので，薬物や麻酔の影響を極めて受けやすい．脊髄障害を誘発電位の波形の変化で迅速に予知しようという方法が，このように他の因子に影響されやすいことは脊髄モニターとしては不適当と考えられる．また，電位が小さいことや，波形が安定しないことも欠点としてあげられる．

脊髄障害をどの程度評価できるかという問題について，本邦の脊椎，脊髄外科における基礎的研究[38]，及び約300例[39][40]の臨床的検討から次のことが結論されている．①誘発電位に変化がなければ臨床的脊髄障害は起こらない．②誘発電位の振幅変化が著しいほど脊髄障害の可能性が高くなり，特に消失は極めて危険である．以上，誘発電位の変化と術後の脊髄の障害の間に有意の相関があることが報告されているが，さらに本論文では，脊髄の血流量と硬膜外誘発電位が相関することも証明した．Kobrine[41]は体性感覚誘発電位を用い，脊髄の虚血が神経伝導に及ぼす影響を検討し，神経伝導は虚血に対して比較的よく耐えるとしている．しかし，虚血の程度と振幅の変化については言及していない．

臨床応用における危険範囲の判定については，脊椎，脊髄外科では多数の臨床例から，50%という目安が設定されている[40]．著者の実験（図26）では，20分以内に50%以上の振幅低下をきたしたものは，その後電位

が消失し，高度虚血を起こした．10～50%の振幅低下の場合は，図20で，振幅が20%しか低下していないのに，脊髄組織血流量は1/4に低下していることから，やはり注意すべきである．

以上より，20分以内に50%以上の振幅低下は危険事態であり，また，10%以上の変化は要注意状態であり，体血圧を上昇させて側副血行を促進させるか，曠置範囲を狭めるか，またはcritical arteryの血行再建をはからねばならないと考えられる．

結　　論

雑種成犬82頭を使用し，胸部下行大動脈瘤に対する手術を想定し，上行大動脈と腹部大動脈の間に人工血管によるextra-anatomic bypassを作成した．この際，下行大動脈の近位端のみ遮断する不完全曠置法，と近位端と遠位端の両側を遮断する完全曠置法を施行，その病態生理を検討した．

1．バイパスに使用する人工血管は，心臓への後負荷を防ぐためには，上行大動脈径の60%以上の口径が必要であった．

2．大動脈内血流逆行による諸臓器動脈の血流量への影響は一般に軽度で，最も影響の大きかった上腸間膜動脈でも約10%の血流減少であった．

3．不完全曠置法においては，この曠置部のthromboexclusionを左右する因子は肋間動脈閉塞の有無であることを証明した．

4．完全曠置法では，肋間動脈の閉塞の有無にかかわらずthromboexclusionが得られた．これにもかかわらず実験犬には全例，対麻痺は認められなかった．これは，内胸動脈を主とする側副血行によるものであることが認められた．

5．完全曠置時，脊髄組織血流量は曠置範囲ならびに曠置部内圧に影響された．脊髄虚血及び神経活動電位異常を起こさないためには，狭範囲（4椎体）曠置では，曠置部内圧が40 mmHg（中間圧），平均体血圧で80 mmHg以上，広範囲(10椎体)曠置では，それぞれ60 mmHg，120 mmHg以上あることが必要であった．

6．大動脈遮断曠置時の硬膜外誘発脊髄電位と脊髄組織血流量を測定し，この両者に相関関係のあることを見出した．脊髄虚血発生の危険性に関して，脊髄電位が50%以上低下する時は危険であり，10%以上では要注意であった．

以上より，胸部大動脈に対するextra-anatomic bypass術を安全に施行するためには，人工血管の口径，肋間動脈閉塞の有無，体血圧及び誘発脊髄電位の変化に注意することが重要と考えられた．

稿を終るに臨み，御指導，御校閲を賜わりました恩師岩喬教授に深甚の謝意を表します．また終始御指導，御助言をいただいた吉田知弘講師，田村清範技官に心から感謝いたします．併せて本研究遂行に多大の御協力をいただいた医療短期大学作業療法部山口昌夫教授，精神科倉知正佳講師，池田輝男技官，ならびに医学部第一外科の諸先生方に深く感謝いたします．

なお本論文の要旨は，第35回日本胸部外科学会総会（1982），第23回日本脈管学会総会（1982）で発表した．

文　　献

1） **岩喬・永井晃・飯田茂穂・渡辺洋宇**：解離性大動脈瘤．現代医療，**11**, 189-196 (1978).

2） **井上正**：解離性大動脈瘤．脈管学，**21**, 103-107 (1981).

3） **和田寿郎・樫野隆二**：胸部大動脈瘤の外科．外科診療，**17**, 929-941 (1975).

4） **宮本巍・清水幸宏・山下克彦**：解離性大動脈瘤術後の大動脈造影所見について．日胸外会誌，**30**, 680-682 (1982).

5） **岩喬・斎藤裕・藤野茂樹**：切迫破裂性巨大胸部大動脈瘤に対する上行大動脈一腹部大動脈バイパス手術．日胸外会誌，**30**, 595-598 (1982).

6） **川田光三・相馬康宏・井上正**：弓部～下行大動脈瘤に対する上行～腹部大動脈永久バイパス法．日胸外会誌，**30**, 593-595 (1982).

7） **Liotta, D., Donato, F. O. & Bertolozzi, E.**: Staphylococal aortic pseudoaneurysm: Treatment employing ascending aorta - abdominal aorta bypass graft. Chest, **72**, 243-245 (1977).

8） **Odagiri, S., Itoh, T., Yozu, R., Kawada, K. & Inoue, T.**: Ascending aorta-supraceliac abdominal aorta bypass: Successful removal of an infected graft of thoracic aorta. Chest, **75**, 722-724 (1978).

9） **Shumacker, H. B. & King, H.**: Surgical management of rapidly expanding intrathoracic pulsating hematomas. Surg. Gynecol. Obstet., **109**, 155-164 (1959).

10） **Absolen, K. B., Freant, L., Newsome, D., Kim, S. C. & Oboler, A.**: Extrathoracic axillary-iliac bypass substitution of a resected descending thoracic aorta. Surgery, **77**, 275-279 (1975).

11） **Carpentier, A., Deloche, A., Fabiani, J. N., Chauvaud, S., Relland, J., Nottin, R., Vouhe, P., Massoud, H. & Dubost, Ch.**: New surgical approach to aortic dissection: Flow reversal and thromboexclusion. J. Thorac. Cardiovasc. Surg., **81**, 659-668 (1981).

12) 久米進一郎・山田崇之・十九浦敏男：一時的体外バイパス法に関する実験的研究：バイパス径と心，腎血行動態の変化．日胸外会誌（臨増），**30**, 165 (1982).

13) 阿部忠昭・贄田茂男・猪股昭夫・大久保正・高野英信・山本久・桜田徹・三田重人・星野良平・斎藤智：解離性大動脈瘤（De Bakey III型）に対する Extended aortic bypass 手術．日胸外会誌，**30**, 603-605 (1982).

14) **Robinson, G., Siegelman, S. & Attai, L.**: Recurrent dissecting aneurysm of aorta. New York State Journal of Medicine, **15**, 2328-2331 (1972).

15) 榊原欣作：総論・人工心肺と体外循環．体外循環の最近の進歩，日本人工臓器学会，1-33 (1981).

16) **Carpentier, A.**: A new approach to the treatment of aortic dissections. Lancet, **2**, 1291 (1979).

17) 島津和彦・橋本明政：解離性大動脈瘤に対する Permanent aortic clamp を用いた血栓嚢置化術（thromboexclusion technique）の基礎的実験的検討．医学のあゆみ，**120**, 670-672 (1982).

18) 高野信篤・塩入祐世：DeBakey type III b 解離性大動脈瘤に対する上行大動脈・腹部大動脈バイパス手術．日胸外会誌，**30**, 601-603 (1982).

19) 三井利夫・伊藤翼・井島宏・前田肇・岡村健二・入山正・桜井淳一・堀原一：胸腹部大動脈瘤に対する動脈瘤空置バイパス手術．日胸外会誌，**30**, 598-601 (1982).

20) 数井秀器・土岡弘通・中井堯雄・内木研一・加藤量平・福田巌・永田昌久・矢野孝・小林正治・寺沢利昭・加藤真司・北川茂久・近藤三隆・森下尚：解離性大動脈瘤（III b 型）に対する大動脈瘤空置術．脈管学，**22**, 729 (1982).

21) 伊藤翼・桜井淳一・福田幾夫・井島宏・前田肇・岡村健二・三井利夫・堀原一：胸腹部大動脈瘤への新しい外科的アプローチとその根拠．日胸外会誌(臨増)，**30**, 158 (1982).

22) **Crawford, E. S., Vaccaro, P. S.**: Thoracoabdominal aortic aneurysm., p151-181, In J. J. Bergan & J. S. T. Yao (ed), ANEURYSMS: DIAGNOSIS AND TREATMENT, 1st ed. Grune & Stratton Inc., New York, 1982.

23) **Spencer, F. C. & Zimmerman, J. M.**: The influence of ligation of intercostal arteries on paraplegia in dogs. Surg. Forum., **9**, 340 (1950).

24) **Kobrine, A. I., Doyle, T. F. & Rizzoli, H. V.**: Spinal cord blood flow as affected by changes in systemic arterial blood pressure. J. Neurosurg., **44**, 12-15 (1976).

25) **Griffiths, I. R.**: Spinal cord blood flow in dogs: The effect of blood pressure. J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry, **36**, 914-920 (1973).

26) **Griffiths, I. R.**: Spinal cord blood flow in dogs: The "normal" flow. J. Neurol. Psychiatry, **36**, 34-41 (1973).

27) 田村晃・浅野孝雄・佐野佳司：家兎脊髄血流量の研究．脳神経，**30**, 383-386 (1978).

28) 萬年徹：老年者における脊髄の血管性障害に関する研究．臨床神経学，**3**, 47-63 (1963).

29) 宮地利彦：日本人脊髄の血管系に就いて，第一篇，日本人の脊髄動脈に就いて．東京医学会誌，**45**, 1727 (1931).

30) 三森研自・佐藤正治・都留美都雄：脊髄血管障害の病態生理：脊髄血行動態．血液と脈管，**7**, 269-278 (1976).

31) **Fried, L. C., DiChiro, G. & Doppman, J. L.**: Ligation of major thoracolumbar spinal cord arteries in monkeys. J. Neurosurg., **31**, 608 (1969).

32) 黒川高秀：硬膜外腔における脊髄刺激による誘発脊髄電位．脳波と筋電図，**1**, 64-66 (1972).

33) **Croft, T. J., Brodkey, J. S. & Nulsen, F. E.**: Reversible spinal cord trauma: A model for electrical monitoring of spinal cord function. J. Neurosurg., **36**, 402-406 (1972).

34) 玉置哲也・小林英夫・山根友二郎・江頭泰平・辻陽雄・井上駿一：誘発脊髄活動電位の臨床応用．整形外科，28, 681-689 (1977).

35) 藤野茂樹・辻口大・山下良平・橋爪泰夫・川筋道雄・岩喬：大動脈バイパス術時の嚢置範囲に関する実験的研究．日胸外会誌（臨増），**30**, 161 (1982).

36) **Coles, J. G., Wilson, G. J., Sima, A. F., Klement, P. & Tait, G. A.**: Intraoperative detection of spinal cord ischemia using somatosensory cortical evoked potentials during thoracic aortic occlusion. Ann. Thorac, Surg., **34**, 299-306 (1982).

37) **Cunningham, J. N., Laschinger, J. C., Merkin, H. A., Nathan, I. M., Colvin, S., Ransohoff, J. & Spencer, F. C.,**: Measurement of spinal cord ischemia during operations upon the thoracic aorta. Ann. Surg., **196**, 285-296 (1982).

38) 安川敬一郎：脊髄モニタリングとしての誘発脊髄電位の実験的および臨床的研究．日整会誌，**54**, 1661-1677 (1980).

39) 小林英夫・玉置哲也・中川武夫・豊田敦・今井克己・村上正純・井上駿一：脊髄誘発電位：その臨床応用．臨床脳波，**22**, 454-463 (1980).

40) 黒川高秀・小林正之：脊髄誘発電位測定による脊髄モニター．臨床脳波，22, 464-470 (1980).
41) Kobrine, A. I., Evans, D. E. & Rizzoli, H. V.: The effects of ischemia on long-tract neural conduction in the spinal cord. J. Neurosurg., 50, 639-644 (1979).

Experimental Study on Pathophysiological Changes induced by Extra-anatomic Bypass of Thoracic Aorta Shigeki Fujino, Department of Surgery (I) (Director: Prof. T. Iwa) School of Medicine, Kanazawa University, Kanazawa 920 – J. Juzen Med. Soc., **92**, 269–284 (1983)

Key words: Thoracic aneurysm, Extra-anatomic bypass, Hemodynamics, Thromboexclusion, Spinal cord monitoring

Abstract

The efficacy and limits of extra-anatomic bypass for aneurysm of the thoracic descending aorta were studied using adult mongrel dogs. An extra-anatomic bypass was formed between the ascending aorta and the infra-renal abdominal aorta using artificial prostheses with various diameters. An incomplete and complete exclusion methods were tried in these experiments; in the former only the proximal end of the descending aorta was occluded and in the latter both the proximal and the distal ends were occluded. The pathophysiological results obtained were as follows: The diameter larger than 60% of that of ascending aorta was necessary for the artificial prosthesis used in the bypass, to avoid overloading the left ventricle of the heart. The effect of intraaortic reflux on arterial blood flow in various visceral organs was mild. In the cases of the incomplete exclusion method, there was no thromboexclusion unless the intercostal arteries were occluded. On the other hand, in the cases by the complete exclusion method, the thromboexclusion in the excluded area occurred earlier. In these experiments, no paraplegia was observed in any of the dogs used, as the blood pressure was maintained within the normal range. However, the cases in which systemic hypotension was intentionally induced devedloped various pathophysiological changes in the spinal cord. Under narrow complete exclusion of four vertebral lengths with intraluminal pressure lower than 40 mmHg, or under broad complete exclusion of ten vertebral lengths with pressure lower than 60 mmHg, hemodynamic autoregulation mechanism of the spinal cord grew uncontrollable. A positive correlation was observed between the epidural evoked electrospinogram (EESG) and the spinal cord blood flow under complete exclusion. Rapid decrease more than 50% of the amplitude of the spinal cord potential was the sign of severe ischemia of the spinal cord. From the results of the present investigation, it is concluded that the diameter of the prosthesis, the patency of the intercostal arteries, systemic blood pressure, and change of EESG are the most important factors in performing extra-anatomic bypass of the thoracic aorta.