

原 著

止血を目的として考案した血管内カテーテルの
効果と安全性に関する実験的研究

東京女子医科大学 第2外科学教室 (主任: 織畑秀夫教授)

サイ トウ ヨリ アキ
齊 藤 道 顕

(受付 昭和61年6月25日)

**Experimental Study on the Effect and Safety of an Intravascular Catheter
Designed for Hemostasis****Yoriaki SAITO**Department of Surgery (Director: Prof. Hideo ORIHATA)
Tokyo Women's Medical College

The balloon catheter has generally been used in cases of hemoperitoneum and rupture of abdominal aortic aneurysm. By this method, however, blood flow into tissues distal to the site of the inflated balloon is completely disturbed. Therefore, I designed a special catheter with a cylindrical tip and a balloon attached to the tip for hemostasis and examined its safety and effects. The results obtained are as follows.

1) When the balloon of the special catheter was inflated in the abdominal aorta above the renal artery, blood flow into the renal artery was almost completely suppressed. Thus, hemostasis was sufficient.

2) The insertion of the special catheter into the abdominal aorta caused no significant changes in various parameters of blood circulation. Such insertion, in itself, is therefore considered to exert only minimal effects on the cardiopulmonary system.

3) When the balloon of the special catheter was inflated, blood flow into the peripheral area decreased by a maximum of 10.7%; i.e., 90% of blood flow was supplied to the peripheral area, providing sufficient blood supply to the periphery.

4) The inflation of the balloon induced an increase in the mean blood pressure, suggesting its advantage in cases of shock.

5) There were no significant differences between cardiac output, pulmonary arterial pressure, mean central venous pressure, PaO₂ or PaCO₂ before and after inflation of the balloon.

6) When the balloon was inflated, the pH of body fluids inclined toward acidosis. Therefore, prolonged inflation requires correction for acidosis.

On the basis of these findings, we believe that the insertion of this special catheter into the abdominal aorta causes minimal effects on the cardiopulmonary system and that the inflation of the balloon achieves satisfactory hemostasis.

目 次

緒 言

実験目的

実験方法

1. 実験動物および麻酔方法

2. 血行動態の測定

1) 平均動脈圧

2) 心拍出量

- 3) 肺動脈圧
- 4) 中心静脈圧
- 5) 腎動脈血流量
3. 脱血および血液ガス分析
4. 特殊カテーテルの挿入

結果

1. 止血効果
2. 血行動態および血液ガス分析
 - 1) 平均血圧
 - 2) 心拍出量
 - 3) 肺動脈圧
 - 4) 平均中心静脈圧
 - 5) 腎動脈血流量
 - 6) 動脈血酸素分圧
 - 7) 動脈血炭酸ガス分圧
 - 8) 水素イオン濃度
3. 小括

考察

1. 止血効果
2. 末梢への血流の減少度
3. 心肺系への影響
 - 1) 平均血圧
 - 2) 心拍出量
 - 3) 肺動脈圧
 - 4) 平均中心静脈圧
 - 5) 血液ガス分析

総括と結語

文献

緒言

近年、交通事故等の増加により、腹部外傷が増加の傾向にある。腹部外傷における腹腔内出血時、特に腹腔内実質臓器からの大量出血がある場合や腹部大動脈からの鋭的損傷等による出血時には、緊急手術を必要とする場合が多い。しかし輸液や輸血により状態が安定し緊急手術を施行できる場合もあるが、大量の輸血を行なっても状態の安定しない症例もある。この間の出血をコントロールする目的で、あるいは緊急手術を回避する目的で、近年いろいろな止血方法が行なわれている。Smiley²⁶⁾らは、銃創に対し、腹部大動脈の穿孔部よりバルーンカテーテルを挿入し、バルーンを膨張させる事により、止血を試みている。又 Heimbecker¹⁹⁾らは、腹部大動脈瘤破裂に対して、

Fogarty カテーテルを使用し、出血のコントロールを行なっている。Ledgerwood¹⁰⁾らは、下行大動脈遮断と大動脈の圧迫を比較し、遮断が有効であると述べ、遮断と圧迫を臨床に応用し良い成績を報告している。さらに、Paster²⁷⁾らは骨盤骨折による動脈性の出血に対して、経皮的にカテーテルを挿入し、止血が得られたと報告している。

しかしこれらの方法は、ほとんどの場合、大血管を完全に閉塞し、それより末梢への血流を完全に遮断する方法である。そこで著者は、止血と同時に血流を保つことの必要なことに着目し研究を企図した。

実験目的

腹腔内実質臓器の出血あるいは大動脈瘤破裂、または大動脈の外傷の場合には、大量の出血が生じ腹満を生ずる。この腹圧の上昇により一時的に出血量は減少するが、開腹により腹圧は減少し再び大量出血を生ずる。開腹前に止血が得られれば、手術は比較的安全に行なう事ができる。そこで止血と同時に血流の保持を目的とした特殊カテーテルを考案した(写真1)。このカテーテルの先端は円筒状で、中心部が中空になっており、周囲にバルーンを装着したものである。写真2はバルーンを deflate した状態であり、写真3はバルーンを inflate した状態である。このカテーテルのバルーンを血管内で膨張させる事により出血をどの程度コントロールする事ができるかを検討した。又中心部が中空構造になっているため、末梢への血液の供給が確保される事になるが、バルーンを膨張させる事で、末梢への血流がどの程度減少するかを各種の脱血状態について比較検討した。さらにバルーンを膨張させる事により、心肺系に与える影響はどの程度であるかを、各種の脱血状態について比較検討を行なった。

実験方法

1. 実験動物および麻酔方法

体重12~25kgの雑種成犬22頭を使用した。実験に使用した犬は全て、犬舎にて一週間以上の観察を行ない、病的状態あるいは栄養状態不良と思われるものは除外した。麻酔は、Ketamine Hydrochloride 8mg/kg 筋注後、Sodium Pentobarbital

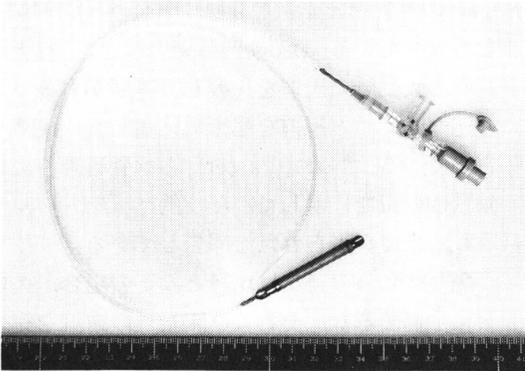


写真1 catheterの外観

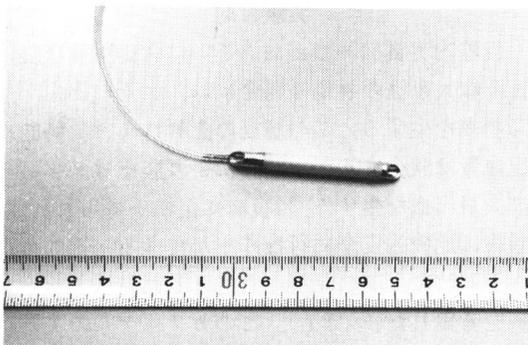


写真2 deflateしたcatheterの先端

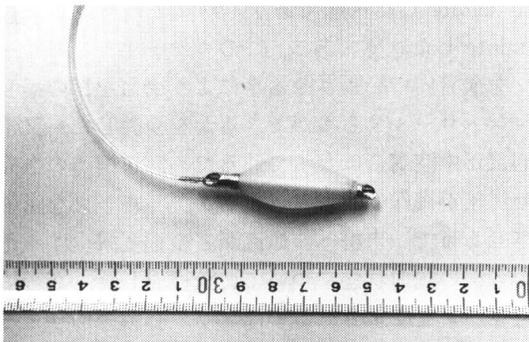


写真3 inflateしたcatheterの先端

20mg/kgの静注を行ない、#28~30のカフ付きチューブを気管内に挿管し、気道を確保した。実験中の麻酔維持には、体動や反射の現われた時に、これらが消失するまで、Pentobarbitalを少量ずつ緩徐に追加投与した。又レスピレーター(ACOMA R-300)によって調節呼吸を行なった。一回換気量は、20~30ml/kg、呼吸数は20回/min

room airとした。

2. 血行動態の測定

実験中の血行動態の指標として、動脈圧、心拍出量、肺動脈圧、中心静脈圧を測定した。さらに止血効果及びバルーン膨張時の末梢の血流減少の程度を測定する為に、腎動脈に電磁血流計を装着し、血流量を測定した。約18cmの腹部正中切開にて開腹し、各血管の露出を行なった。止血効果の検討を行なう場合は、カテーテルは腹部大動脈内の腎動脈分岐部に留置し、それ以外の血行動態の測定の場合は、カテーテルは横隔膜下の腹部大動脈内に留置した。

1) 平均動脈圧

平均動脈圧測定のために、左総頸動脈よりクールナントカテーテル(7F)を挿入し、高圧 Straingange型 Transducer (MPV 0.5-290型、三栄測器 KK)に接続し、測定を行なった。平均動脈圧は、以下の式にて算出した。

平均血圧 =

$$\text{最低血圧} + (\text{最高血圧} - \text{最低血圧}) \times \frac{1}{3}$$

2) 心拍出量

心拍出量は、Swan-Ganz カテーテルを左大腿静脈に挿入し、先端を肺動脈まで挿入し、Thermidilution Cardiac Out Put Computer (日本光電、S-041)に接続し、0~1℃の生理食塩液5mlの注入により測定した。この計測を3回行ない、平均値を測定値とした。

3) 肺動脈圧

肺動脈圧は、Swan-Ganz カテーテルを上記の如く挿入し、Transducer (MPV 0.5-290型、三栄測器 KK)に接続し、測定した。

4) 中心静脈圧

中心静脈圧を測定するために、左外頸静脈より、クールナントカテーテル(7F)を挿入し、前大静脈に留置し、これを Transducer に接続して測定を行なった。

5) 腎動脈血流量

左腎動脈を露出し、これに電磁血流プローブ(FB型、日本光電 KK)を装着し、電磁血流計(MFU-1200型、日本光電 KK)に接続し、左腎動脈の血流量を測定した。

3. 脱血及び血液ガス分析

肺機能に与える影響がどの程度あるかを知る為に、左総頸動脈に挿入したカテーテルに三方活栓を接続して、この部位より脱血を行なった。さらに脱血後15分で採血し、次にバルーンを膨張し、約15分後採血し血液ガス分析を行なった。採血された血液は、ただちに自動ガス分析装置(CORNING M-168)で測定した。

回路内は、乳酸加リンゲル液にヘパリン0.5mlを混注したもので充填した。

4. 特殊カテーテルの挿入

このカテーテルの構造は図1の如く、長さ5cm幅4mmで、両端は挿入、抜去が容易なように、斜めになっている。この胴の部分に、3.3cmの長さにわたりバルーンを装着しており、膨張時には、最大1.3cmまで拡張が可能となっている。内腔は約3.5mmの幅で中空となっており、この中を血液が通過する事ができるようになっている。このカテーテルを右大腿動脈又は腹部大動脈下端より挿入した。止血効果を評価する為に腹部大動脈内の腎動脈分岐部でバルーンを膨張させ、腎動脈に装着した電磁血流計にて止血効果を判定した。さらにバルーンを膨張させる事で心肺系への影響はどの程度あるかを評価する為に、腎動脈より上方の横隔膜下の腹部大動脈までこのカテーテルを挿入した。そこでバルーンを膨張させ、その後でそれぞれ15分の間隔をおいて、各測定を行なった。

以上の各項目の測定を、特殊カテーテル挿入前後、脱血前のバルーン膨張前後、体重当たり5ml、10ml、15ml、20ml、25ml、30mlの脱血を行なった後のバルーン膨張前後で測定を行なった。なお脱血は左総頸動脈より行ない、脱血後約15分の間隔をおいて各項目の測定を行ない、その後バルーンを膨張させて約15分後に再び各項目の測定を行なった。

以上の各測定の概略を要約すると、図2の如くなる。なお有意差は各項目ともt検定にて算出した。

結 果

1. 止血効果

腎動脈開口部にて特殊カテーテルのバルーンを

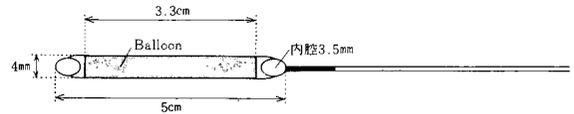


図1 特殊カテーテルの構造

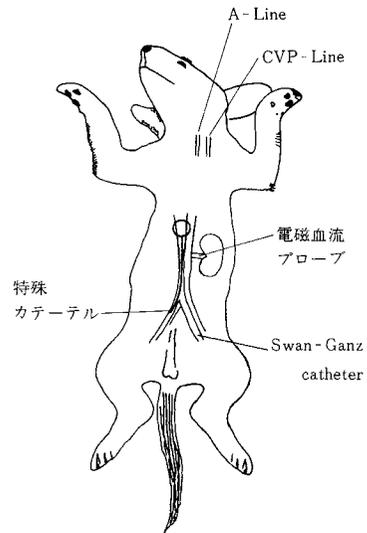


図2 測定の概略

膨張させると図3の如く、血流量は急速に減少し、ほとんど0になる。しかしこれを解除すると、血液は速やかに膨張前の血流量まで回復する。これは脱血時においても、正常圧においても同様であり、解除後は2層性に血流が増加して、膨張前の値まで回復する。この回復時間も、きわめて短時間の間に完全に回復する。

2. 血行動態および血液ガス分析

各血行動態について正常圧をstage Iとし、脱血5ml/kg、10ml/kg、15ml/kg、20ml/kg、25ml/kg

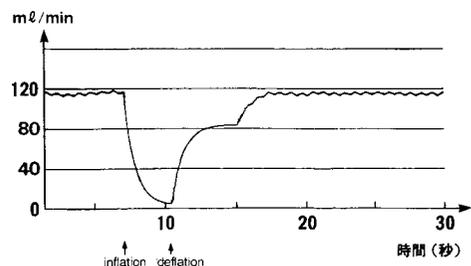


図3 腎動脈上での balloon 膨張前後の腎血流量の変化

表1 stage分類

stage I	正常圧	特殊カテーテル挿入前(△)	
		特殊カテーテル挿入後 balloon	deflate(●) inflate(○)
stage II	脱血5ml/kg	"	deflate(●) inflate(○)
stage III	脱血10ml/kg	"	deflate(●) inflate(○)
stage IV	脱血15ml/kg	"	deflate(●) inflate(○)
stage V	脱血20ml/kg	"	deflate(●) inflate(○)
stage VI	脱血25ml/kg	"	deflate(●) inflate(○)
stage VII	脱血30ml/kg	"	deflate(●) inflate(○)

kg, 30ml/kgをそれぞれ stage II, III, IV, V, VI, VIIと7段階に分類した。以下の図は、これに基づいている。stage Iの特殊カテーテル挿入前を△とし、各stageについてカテーテル挿入後バルーンをdeflateした状態を●, inflateした状態を○として示している。

1) 平均血圧

特殊カテーテル挿入前後では、挿入前が、 114.0 ± 25.7 mmHg, 挿入後が 117.3 ± 31.4 mmHg と、挿入後の方が血圧が上昇する傾向を示したが、有意差は認められなかった。stage IとIVとVIIでは有意差がなかったが、stage IIとIIIでは、膨張前が、それぞれ 104.6 ± 22.4 mmHg, 86.8 ± 30.8 mmHg が、膨張後は、 114.4 ± 20.1 mmHg, 91.4 ± 30.6 mmHg と $p < 0.01$ で有意にバルーンを膨張させた場合の方が、平均血圧が上昇した。stage VとVIでは、膨張前が 77.4 ± 23.8 mmHg, 74.7 ± 27.7 mmHg が、膨張後はそれぞれ 82.9 ± 24.6 mmHg, 78.3 ± 26.9 mmHg と $p < 0.05$ でバルーンを膨張させた場合の方が有意に平均血圧が上昇した。即ち脱血の程度にかかわらず、バルーンを膨張させると平均血圧は、有意に上昇を示す場合が多かった。上昇の程度は、stage II, IIIでは膨張前に比較して、それぞれ6.5%, 5.3%の上昇を示したし、stage V, VIでは、それぞれ7.1%, 4.8%の上昇を示した(図4)。

特殊カテーテル挿入前後では、平均血圧は上昇する傾向を示したが、有意差はなく、又バルーン膨張前後の比較では、ほとんどの場合、有意に平

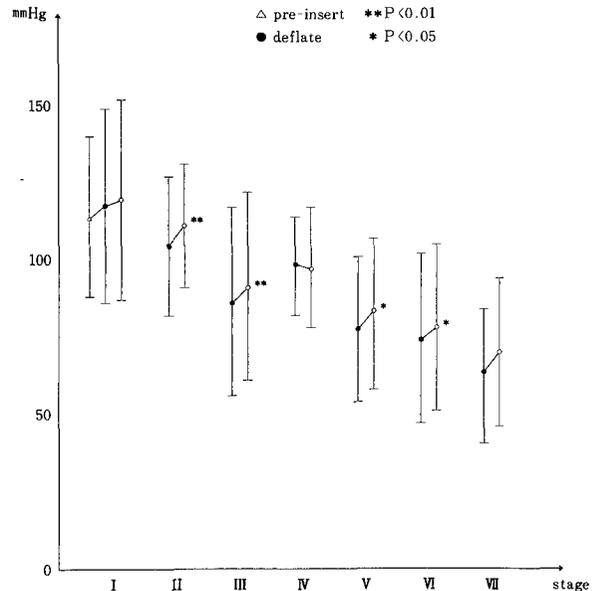


図4 平均血圧

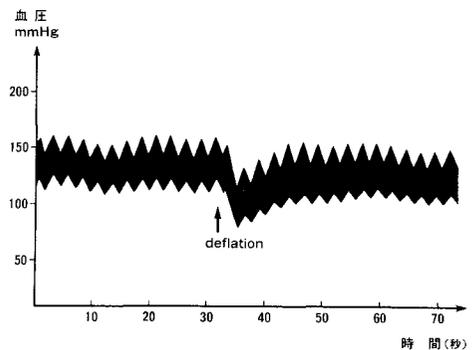


図5 balloonの膨張解除後の血圧の変化

均血圧の上昇を示した。しかしこれらの変化も時間が経過すると、バルーン膨張前の値まで徐々に低下する傾向があった。

逆にバルーンの膨張を解除すると、図5の如く、一度大きく血圧は低下し、その後再び上昇して、バルーン膨張前の値に復した。

2) 心拍出量

特殊カテーテル挿入前後では、挿入前が 1.44 ± 0.41 l/min, 挿入後が 1.35 ± 0.45 l/min と心拍出量は、ほとんど変化を示さなかった。stage Iでは、バルーン膨張前が、 1.35 ± 0.45 l/minであったのが、膨張後は、 1.29 ± 0.43 l/min と $p < 0.01$ で有意

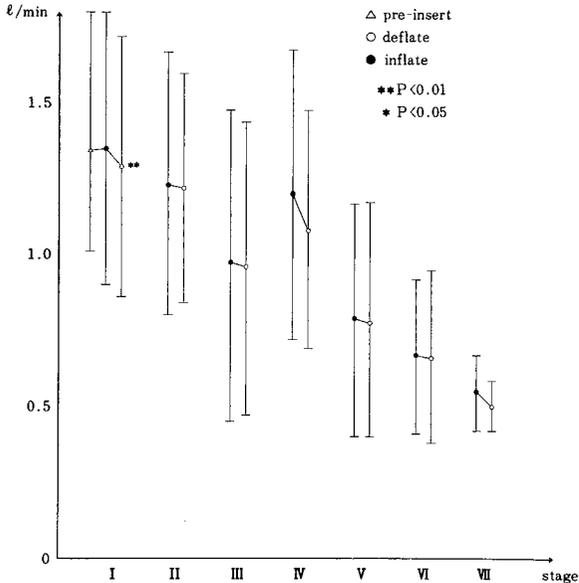


図6 心拍出量

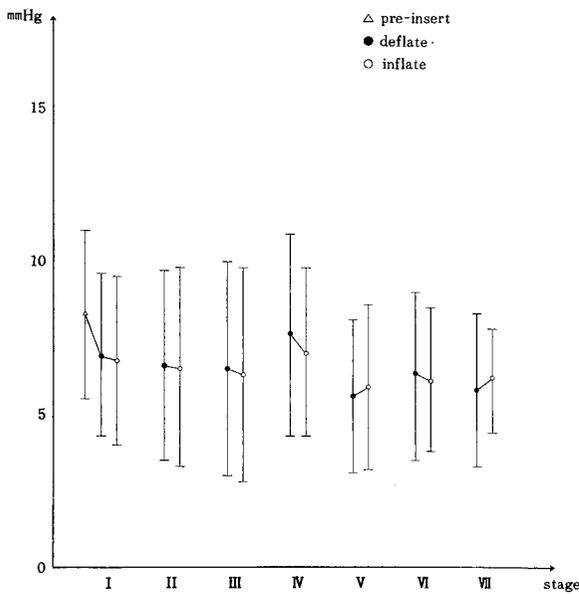


図7 肺動脈圧

に心拍出量の低下を示した。しかし stage II~VII と脱血を行なった場合は、バルーンを膨張させると、心拍出量は減少する傾向を示しはしたが、有意差は認めなかった (図6)。

即ち特殊カテーテル挿入前後および各脱血状態でのバルーン膨張前後の心拍出量の変化は、ほと

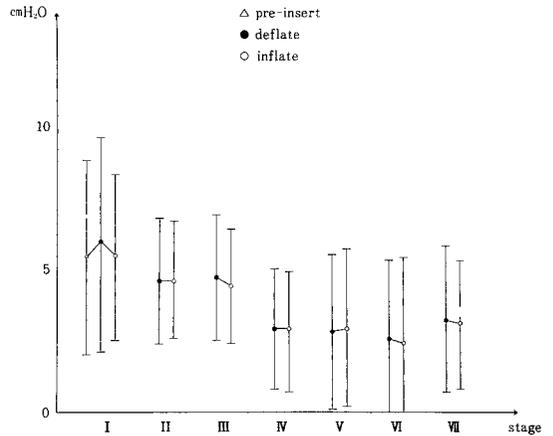


図8 平均中心静脈圧

んどの場合、低下する傾向を示しはしたが有意な変化は認めなかった。

3) 肺動脈圧

特殊カテーテル挿入前後では、挿入前 7.48 ± 2.71 mmHg、挿入後 6.93 ± 2.64 mmHg と肺動脈圧は、減少する傾向を示したが、有意差は認められなかった。stage I, II, III, IV, VIでは肺動脈圧は、減少する傾向を示し、stage V, VIIでは逆に上昇する傾向を示した。全体として肺動脈圧は、減少する傾向を示しはするが、すべて有意差はなかった (図7)。

即ち特殊カテーテル挿入前後、および各脱血状態でのバルーン膨張前後の肺動脈圧は、ともに有意な変化は認められなかった。

4) 平均中心静脈圧 (CVP)

特殊カテーテルを挿入すると、平均中心静脈圧は、 5.42 ± 3.37 cmH₂O から 5.88 ± 3.36 cmH₂O へと上昇傾向を示したが、有意差はなかった。stage I, III, VI, VIIでは、バルーンを膨張させると平均中心静脈圧は減少傾向を示した。又 stage II, IVでは、バルーンを膨張させても変化を示さず、stage Vでは、バルーンを膨張させると、逆に平均中心静脈圧は上昇傾向を示した。しかしこれらの変化は、いずれも有意なものではなかった (図8)。

即ち特殊カテーテル挿入前後、および各脱血状態でのバルーン膨張前後での平均中心静脈圧は、ともに有意な変化を認めなかった。

5) 腎動脈血流量

特殊カテーテルの挿入前後では, 91.8 ± 35.2 ml/min, 91.5 ± 39.5 ml/min とほとんど変化を示さなかった。stage I では, バルーン膨張前後で, 91.5 ± 39.5 ml/min から 81.7 ± 43.2 ml/min と, 膨張後で腎動脈血流量は, $p < 0.01$ で有意に減少した。又減少率は, 10.7%であった。stage II, IV, VI ではバルーン膨張前が, それぞれ 94.9 ± 27.1 ml/min, 76.6 ± 40.0 ml/min, 39.9 ± 38.5 ml/min が, 膨張後は, 88.5 ± 26.7 ml/min, 70.4 ± 41.2 ml/min, 36.4 ± 37.8 ml/min と, $p < 0.05$ で有意に減少を示した。減少率は, それぞれ 6.7%, 8.1%, 8.8%であった。stage III, V, VII では, バルーン膨張前後で, それぞれ 61.6 ± 42.0 ml/min, 45.1 ± 36.8 ml/min, 27.9 ± 22.7 ml/min から 56.9 ± 44.2 ml/min, 42.5 ± 36.8 ml/min, 20.4 ± 15.0 ml/min と減少を示したが, 有意差はなかった (図9)。

即ち特殊カテーテル挿入前後では, 腎動脈血流量に変化はないが, バルーンを膨張させると, 血流量は有意に減少する場合が多く, 減少率は, 6.7~10.7%を示した。

6) 動脈血酸素分圧 (P_{aO_2})

特殊カテーテル挿入前後では, 121.7 ± 11.4 mmHg から, 128.4 ± 15.7 mmHg とわずかに上昇

を示したが, 有意差は認めなかった。stage I, VI では, バルーン膨張前で, それぞれ 128.4 ± 15.7 mmHg, 138.6 ± 8.5 mmHg から, 膨張後 133.2 ± 9.4 mmHg, 141.4 ± 9.9 mmHg と動脈血酸素分圧 (以下 P_{aO_2}) は上昇を示したが, 有意差は認めなかった。stage III, VII では, バルーン膨張前で, それぞれ 129.6 ± 20.2 mmHg, 137.4 ± 6.2 mmHg から, 膨張後は 127.8 ± 17.9 mmHg, 131.0 ± 15.3 mmHg と減少を示したが, 有意な差は認めなかった。stage II, IV, V では, バルーン膨張前後で, P_{aO_2} はほとんど変化を示さなかった (図10)。

即ち特殊カテーテル挿入前後では, 動脈血酸素分圧に有意な差は認めなかった。又バルーン膨張前後では, 各脱血状態とも動脈血酸素分圧に一定の変化を認める事ができず, 有意な差も認めな

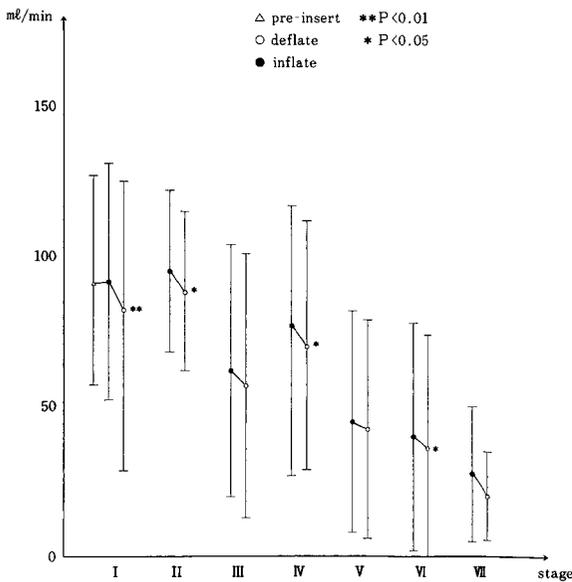


図9 腎動脈血流量

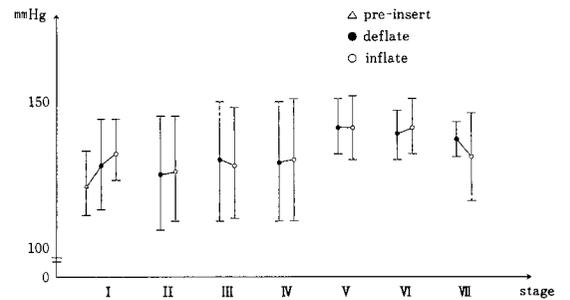


図10 動脈血酸素分圧

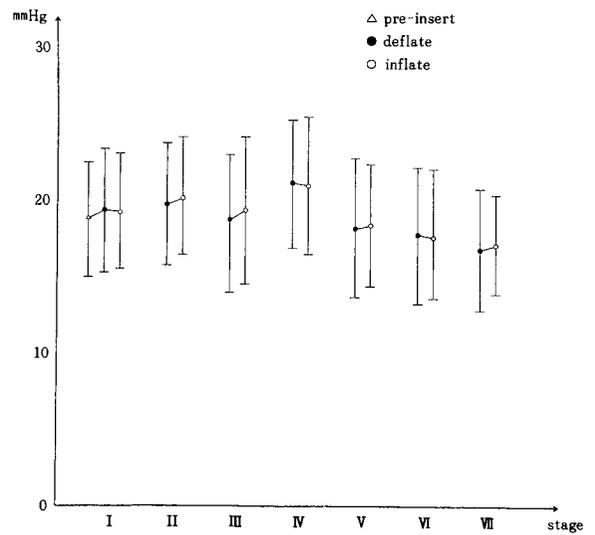


図11 動脈血炭酸ガス分圧

かった。

7) 動脈血炭酸ガス分圧 (P_aCO_2)

特殊カテーテル挿入前後で動脈血炭酸ガス分圧 (以下 P_aCO_2) は 18.8 ± 3.7 mmHg から 19.4 ± 4.1 mmHg と、わずかに上昇を示すが、有意な差は認められなかった。バルーン膨張前後での P_aCO_2 の比較では、stage I から VII まで、ごくわずかな変化しか示さず、かつ有意差も認められなかった (図 11)。

即ち特殊カテーテル挿入前後、および各脱血状態のバルーン膨張前後での P_aCO_2 の変化には、有意な変化は認められなかった。

8) 水素イオン濃度 (PH)

特殊カテーテル挿入前後で水素イオン濃度 (以下 PH) は、 7.4527 ± 0.0491 から 7.4363 ± 0.0606 と減少を示すが、有意な差は認められなかった。stage II, VI では、バルーン膨張前でそれぞれ 7.3937 ± 0.0876 , 7.3196 ± 0.0853 から、膨張後は、 7.3784 ± 0.0839 , 7.3037 ± 0.0891 と PH は $p < 0.01$ で膨張後に有意にアシドーシス側に傾く。stage I, V ではバルーン膨張前で、それぞれ 7.4363 ± 0.0606 , 7.3439 ± 0.1011 から膨張後は、 7.4259 ± 0.0622 , 7.3317 ± 0.1025 と PH は、 $p < 0.05$ の有意差を持って膨張後、アシドーシス側に傾く。stage III, IV, VII では、バルーン膨張後わずかにアシドーシス側に傾くが、有意差は認めなかった。又脱血が高度になるに従い、アシドーシス側に傾く傾向を認めた (図 12)。

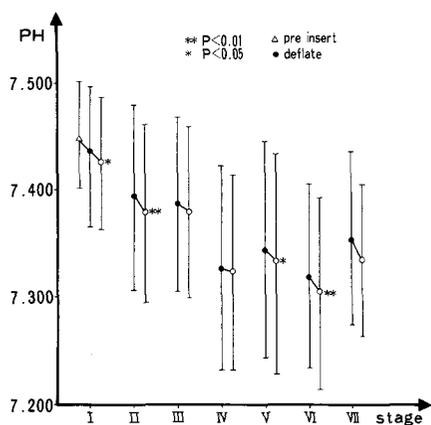


図12 水素イオン濃度

即ち、特殊カテーテル挿入前後では、挿入後アシドーシス側に傾く傾向を認めたが、有意差はなかった。又バルーン膨張前後では、膨張後にアシドーシス側に有意な差をもって傾く場合が多かった。さらに脱血が高度になるに従って、アシドーシス側に傾く傾向を認めた。

3. 小括

1) 腹部大動脈内の腎動脈開口部で特殊カテーテルのバルーンを膨張させると、腎動脈への血流量は急速に減少し、0 に近づく。これを解除すると、血流は速やかに膨張前の値まで回復する。

2) 特殊カテーテルを腹部大動脈内の横隔膜下に挿入した前後では、総頸動脈での平均血圧は上昇する傾向を示したが、有意差はなく、又バルーン膨張前後の比較では、ほとんどの場合、有意に平均血圧の上昇を認めた。逆にバルーンの膨張を解除すると、一度血圧は低下した後再び上昇してバルーン膨張前の値に戻った。

3) 特殊カテーテルを腹部大動脈内の横隔膜下に挿入した前後、および種々の程度の脱血状態作成後約15分後のバルーン膨張前後の血行動態については、心拍出量の変化は、低下傾向を示したが、有意差はなく、肺動脈圧、平均中心静脈圧、動脈血酸素分圧、動脈血炭酸ガス分圧は、いずれも有意な差は認めなかった。

4) 腎動脈血流量は、このカテーテル挿入によっても変化はないが、バルーンを膨張させると、ほとんどの脱血状態で、末梢への血流量は有意に減少し、減少率は6.7~10.7%を示した。

5) このカテーテル挿入によって、アシドーシス側に傾く傾向を認めたが、有意差はなかった。バルーン膨張前後の比較では、ほとんどの脱血状態において、膨張後にアシドーシス側に有意な差をもって傾いた。また脱血が高度になるに従って、アシドーシス側に傾く傾向を認めた。

考 察

交通事故や労働災害等の増加に伴い、胸腹部の外傷も増加傾向にある。これらのうち特に大血管の損傷を合併する場合は死亡率も高く、また緊急の処置を要する場合が多い。Mattox¹⁾らも、大血管の損傷は死亡率が高いと報告している。Burns²⁾

らは、37例の大動脈及び下大静脈の損傷例を検討し、死亡率は49%であったと報告しており、Bricher³⁾らも、82例の下大静脈の損傷例を分析し、死亡率は40%であったと述べている。同様の報告は、Duke⁴⁾、Weichert⁵⁾らによっても行なわれている。Allen⁶⁾らは、銃創、刺創、鈍的外傷による大動脈の損傷のうち銃創によるものが最も死亡率が高く、全体の生存率は46%であったと報告している。Dillard⁷⁾らの報告によれば、外傷性動脈損傷の予後は、受傷から初期治療までの時間によって決まり、最も予後が悪いのは、鈍的外傷と crush syndrome であったと述べている。Richards⁸⁾らは、腹部大動脈破裂の生存例を14例分析し、事故から救急室までの搬送時間および手術室までの搬送時間が大切である事を強調している。

以上述べた如く、大血管の損傷は大出血をきたすので死亡率が高く、緊急に処置を行なう必要がある。この大出血をコントロールする目的で、近年種々な止血方法がとられている。Sankaran⁹⁾らは犬を使って、大血管の穿通性の創を持った臨床モデルに似せて実験を行ない、胸部大動脈であらかじめ閉塞を行なった後に、開腹したほうが、心血管系の虚脱を防ぐ事ができると述べている。即ち腹腔内に大量の出血があり腹満が生じている時に開腹すると、心機能の悪化を生ずるが、開腹前に胸部大動脈遮断を行なうと、この心機能の悪化を防ぐ事ができると言うものである。Ledgerwood¹⁰⁾らは、胸部大動脈遮断と横隔膜下の腹部大動脈の圧迫を併用して臨床に使用し良い成績を報告しているが、圧迫と遮断を比較すると、遮断が有効であると述べている。しかしこれらの方法はいずれも、長時間の大動脈の閉塞を行なう事になり、これはかなりの危険を伴う事になる。

さらにバルーンカテーテルを使用し腹部大動脈瘤の止血に使用した報告も多数認められる。このバルーンカテーテルは、1953年に Edwards¹¹⁾らにより動物実験で血行遮断の目的で使用された。さらに1954年 Hughes¹²⁾らにより始めて朝鮮戦争で人間に使用された。1962年 Hesse¹³⁾らは、胸部大動脈瘤の切除に、始めてバルーンカテーテルを使用した。その後大動脈瘤に対して、バルーンカテー

テルを使用した報告は多数認められる。

Mc Caughan¹⁴⁾らは、大動脈の外部からの遮断と、内腔からの遮断を比較し、外部からの遮断は動脈壁に損傷を与えると述べている。また内腔からの閉塞は圧を300mmHg以下に保つなら、損傷は最小限ですみ、外部からの圧迫で出血をコントロールできない時は、有効な手段となりうると述べ、内腔からの遮断の安全性と有効性につき報告している。Foster¹⁵⁾らも同様の報告を行なっている。Robicsek¹⁶⁾らは、動脈瘤の壁よりバルーンカテーテルを中枢に向かって挿入し、動脈瘤の頸の部分でこれを膨張させ、術中の出血のコントロールを行なったが非常に有効であったと述べている。同様の報告は、Howard¹⁷⁾らや Berkowitz¹⁸⁾らによっても行なわれている。それまではカテーテルは逆行性に中枢に向かって挿入されていたが、1964年 Heimbecker¹⁹⁾らは、順行性に左上腕動脈よりカテーテルを挿入し、大動脈瘤上縁でバルーンを膨張させて遮断を行ない、出血のコントロールを行なった。同様に Smith²⁰⁾は、腋下動脈よりバルーンカテーテルを挿入し、術中の出血のコントロールを容易にする方法を報告した。動脈瘤の末梢よりカテーテルを挿入し、バルーンを膨張させると、圧によって抜ける事が予想されるが、この方法だと索引すれば抜ける事はないという利点を有する。同様の報告は、Anastacio²¹⁾ら、Hatfield²²⁾ら、Hyde²³⁾ら、Straube²⁴⁾らによっても行なわれている。さらに富田²⁵⁾らは、左総腸骨動脈吻合部に発生した仮性動脈瘤切迫破裂の術中にバルーンカテーテルを挿入し、血行遮断を行ない、出血のコントロールを行ないながら手術を施行し良好な結果を得たと報告している。Smiley²⁶⁾らは、腹部大動脈や下大静脈の銃創に対し、穿孔部よりバルーンカテーテルを挿入し、出血のコントロールを行なっている。さらに Paster²⁷⁾らは、骨盤骨折による動脈性の出血に対して、経皮的にカテーテルを挿入し、止血が得られたと報告している。Shelden²⁸⁾らも同様の報告をしている。

以上述べた如く、バルーンカテーテルは、動脈瘤のみならず、銃創等の外傷や、骨盤骨折による出血のコントロールにも使用される。しかしこれ

らの方法は、いずれも大血管を完全に閉塞し、それより末梢への血流を完全に遮断する方法である。そこで著者は、出血のコントロールをしながら末梢への血流が確保できるような特殊なカテーテルを考案した。このカテーテルの構造は図1に示す如く、周囲にバルーンを装着し、内腔は中腔構造になっており、この中を血液が通り、末梢への血流が確保される事になる。このカテーテルの使用によって得られる止血効果、末梢への血流の減少度、心肺系への影響は次の如くである。

1. 止血効果

腹部大動脈内の腎動脈開口部で特殊カテーテルのバルーンを膨張させると、血流量は急速に減少し、0に近づく。即ち出血している動脈上でバルーンを膨張させる事ができれば、確実に止血効果が得られるものと思われる。しかし経皮的にカテーテルを挿入し、開腹せずに出血している動脈上で正確にバルーンを膨張させる事ができるか否かが問題であるが、現在使用しているカテーテルでは困難であるように思われる。将来はバルーン先端に造影用の側孔を取りつけ、造影しながらバルーンを膨張させれば、この問題は解決するものと思われる。さらにバルーン膨張後この側孔よりヘパリンを持続的に投与すれば、内腔の血栓形成を阻止できるものと思われる。

2. 末梢の血流の減少度

カテーテルを挿入し、バルーンを膨張させると、血液はカテーテルの内腔を通過して末梢へ流れるが、バルーンの膨張した分だけ血流量は減少する。この減少の程度を見る為に、横隔膜下の腹部大動脈内でバルーンを膨張させ、腎動脈への血流量がどの程度減少するかを計測した。

特殊カテーテル挿入前後では、腎動脈血流量には、有意な差は認めなかった。即ち、血流量には変化がなかった。次にバルーンを膨張させた前後では、正常血圧で最も血流量は減少し、脱血した場合、量が増大するに従い、減少の程度は少なくなる傾向を示した。しかし stage III, V, VIIでは数字の上ではかなりの減少を示すが、有意差は認めなかった。実験の例数による要素も含まれると考えられ、全体的には減少を示す事は間違いない

ものと考えられる。減少率は、最大でも10.7%であり、バルーンを膨張させても約90%の血液は末梢に流れる事を示すものである。言い換えれば、バルーンを膨張させても血流は、大部分がカテーテルの内腔を通り、末梢へ流れる事を意味し、末梢への血液の供給は十分可能であると考えられる。もちろん大動脈の血管径とカテーテルの直径の比等も考慮に入れなければならないが、どの脱血状態においてもある程度十分な量の血液の供給が可能であると考えられる。

3. 心肺系への影響

1) 平均血圧

特殊カテーテルを横隔膜下の腹部大動脈内に挿入すると、挿入前に比較して血圧が上昇する傾向を示したが、有意差はなかった。また stage I, IV, VII以外は、どの脱血状態でも、有意に平均血圧の上昇を認めた。これはバルーンを膨張させる事により、抵抗が生じ血圧が上昇する事が最も考えられるが、Berkowitz²⁹⁾らが述べた如く、腎皮質から随質への血流の割り合いが変化して、レニンの値が上昇し、この為に血圧の上昇をきたした事も考慮に入れる必要がある。なお大動脈を完全に遮断した場合は、有意に血圧は上昇するとLedgerwood¹⁰⁾らは報告している。

これらの平均血圧の上昇も、時間が経過してくると、わずかであるが徐々に低下してくる傾向を示した。逆にバルーンの膨張を解除すると、一度大きく血圧は低下し、その後再び上昇し、バルーンを膨張させる前の値に戻った。Strandness³⁰⁾らの大動脈の閉塞の実験でも、バルーンの膨張を解除すると、常に血圧は低下すると述べている。Lunn³¹⁾らも同様に、硬膜外麻酔下でバルーンの膨張を解除すると、特に低血圧をきたしやすくと報告している。またLim³²⁾らや、Thompson³³⁾ら、Bush³⁴⁾らは、適切な輸液によって、この血圧の低下を予防できると述べている。臨床に使用するにあたっては、バルーンの膨張を解除する時には、あらかじめ適切な輸液や輸血を行なった後に、解除すべきである事が示唆される。同様の事は、Walker³⁵⁾らによっても報告されている。出血時には、血圧の低下が当然予想され、このような時に、

この特殊カテーテルを使用する事で、わずかではあるが血圧の上昇が得られる事はきわめて有利である。心臓や頭部への血流は、むしろ増加するものと考えられ、ショック時には有利に作用すると考えられる。

2) 心拍出量

特殊カテーテルを横隔膜下の腹部大動脈内に挿入する前後の比較では、心拍出量に変化はなく、またバルーン膨張前後では stage I 以外は、心拍出量は低下する傾向を示したが、有意差は認めなかった。Swan-Ganz カテーテルの先端が肺動脈内に挿入されているか否かの判定は、透視にて確認した訳ではなく、心電図上の変化のみにて判定した為、一部は肺動脈内に挿入されておらず、この為データに幅が生じた事も考慮に入れる必要がある。Walker³⁵⁾らの大動脈遮断の実験では、有意に遮断後に心拍出量は減少したと報告している。大動脈を遮断すると血液の循環すべき体の体積が減少する為に、有意に心拍出量が低下するのであろうが、バルーン膨張により遮断程ではないが、循環すべき体積の減少をきたし、この為心拍出量が低下する傾向を示したのではないかと考えられる。Strandness³⁰⁾も同様の報告を行なっている。Dunn³⁶⁾らの臨床での報告でも、麻酔をかけ大動脈を遮断すると心拍出量は低下したと述べている。また Gooding³⁷⁾らは、腹部大動脈の遮断を行なうと、cardiac index は減少し、特に冠動脈疾患を有する患者では、大動脈遮断直後に心機能不全に陥る危険性が高いと報告している。

3) 肺動脈圧

特殊カテーテル挿入前後および各脱血状態でのバルーン膨張前後の肺動脈圧には、ともに有意な変化は認められなかった。即ち肺動脈圧は、全く影響を受けないものと考えられる。大動脈遮断を行なった場合も、肺動脈圧には変化がないと Gooding³⁷⁾は述べている。

4) 平均中心静脈圧

特殊カテーテル挿入前後および各脱血状態でのバルーン膨張前後の平均中心静脈圧には、ともに有意な変化は認められなかった。中心静脈圧は、循環血液量と右房圧、右室拡張末期圧を主に反映

しているが、バルーン膨張前後では、循環血液量は一定と考えてよい。従って静脈収縮、横紋筋の収縮、組織圧、呼吸運動、腹圧等の因子も考慮に入れなければならないが、カテーテル挿入前後およびバルーン膨張前後では、右房圧および右室拡張末期圧には、変化を与えないと考えられる。

5) 血液ガス分析

特殊カテーテル挿入前後および各脱血状態でのバルーン膨張前後の P_aO_2 と P_aCO_2 の変化には、有意な変化は認められなかった。特殊カテーテルを挿入すると、挿入後にアシドーシス側に傾く傾向を認めたが、有意差はなく、またバルーン膨張前後では、ほとんどの脱血状態において膨張後にアシドーシス側に有意に傾いた。さらに脱血が高度になり、実験時間が長くなるにつれて、アシドーシス側に傾く傾向を有した。Thomas³⁸⁾や Oyama³⁹⁾らの報告によると、大動脈遮断を行なうと、アシドーシスになると報告している。バルーンを膨張させる事により、血流の遮断または減少した組織でアシドーシスがおこる為であろうと考えられる。このカテーテルを臨床で使用する場合は、バルーンの膨張時間が長くなったら、アシドーシスの補正を行なう必要があると考えられる。

P_aO_2 、 P_aCO_2 に変化がなく、アシドーシスも呼吸性の因子は少ないと考えられる事より、換気への影響は少ないと考えられる。

教室における腹部外傷例を検討すると、下大静脈や肝静脈の損傷がある場合は予後が悪かった。従って静脈に対してこのカテーテルが効果を発揮する事ができるか否かを検討する目的で、下大静脈にもこのカテーテルを挿入し実験を行なった。しかし 2～3 回のバルーンの膨張収縮により、内腔が完全に血栓によって閉塞してしまった。これは静脈の圧が低く、血栓を生じやすいという要因もあろうが、材質にも問題があると考えられる。今後血栓の生じにくい材質に改良するとともに、前述した様に先端に側孔をとり付け、造影後はヘパリンを持続的に流す事で血栓形成を予防して実験を重ねてゆきたい。

総括と結語

腹腔内実質臓器からの出血や大動脈の損傷時に

は、大量の出血を生じ、同時に腹満を生ずる。この腹圧の上昇により、一時的に出血量は減少するが、開腹により腹圧は減少し再び大量出血を生ずる。開腹前に止血が得られれば手術は比較的安全に行なう事ができる。そこで著者は止血と血流保持を目的とした特殊の内腔付きバルーンカテーテルを考案し、その効果と安全性に関して犬を用いて実験を行ない、次の結果を得た。

1) カテーテルを腹部大動脈内に挿入し、バルーンを腎動脈開口部で膨張させ、腎動脈の血流を遮断し得ることを明らかにし、腎よりの出血に対し十分な止血効果があるものと考えられる。

2) カテーテルを大動脈内に挿入しただけでは、血流動態は有意な変化を示さず、心肺系への影響はきわめて軽微である。

3) カテーテルのバルーンを膨張させると、末梢への血流は、最大10.7%まで減少する。即ちバルーン膨張時でも、約90%の血液は末梢に供給される事になり、末梢への血液の確保は十分可能である。

4) カテーテルのバルーンを膨張させると、平均血圧は上昇し、ショック時には有利に働くと考えられる。

5) 心拍出量、肺動脈圧、平均中心静脈圧、動脈血酸素分圧、動脈血炭酸ガス分圧は、バルーン膨張前後で、有意な変化を示さなかった。

6) 血液のPHは、バルーンを膨張させることにより、アシドーシス側に傾き、また脱血の多い方がアシドーシスが強い。

以上より、この内腔付きバルーンカテーテルは、腹部大動脈内に挿入し、バルーンを膨張させる事によって、殆ど心肺系への影響なしに、腎臓等の実質臓器からの出血に対する止血効果が十分に得られうることを実験的に明らかにした。ただバルーンの膨張時間が長くなる場合は、アシドーシスの補正が必要と考えられる。

稿を終るにあたり、御懇篤なる御指導、御校閲を賜りました東京女子医大第2外科学教室、織畑秀夫教授に謹んで感謝の意を表します。また終始御助言を下された教室の諸先生並びに、直接御指導を賜りました鈴木 忠助教授に心より感謝申し上げます。

本論文の要旨は、昭和61年2月20日、東京女子医科大学学会第265回例会において発表した。

文 献

- 1) **Mattox, K.L., McCollum, W.B., et al.:** Management of upper abdominal vascular trauma. *American Journal of Surgery* 128(12) 823~828 (1974)
- 2) **Burns, G.R. and Sherman, R.T.:** Trauma of the abdominal aorta and inferior vena cava. *American Surgeon* 38(6) 303~306 (1972)
- 3) **Bricker, D.L., et al.:** Surgical management of injuries to the vena cava. *The Journal of Trauma* 11(9) 725~735 (1971)
- 4) **Duke, J.H., et al.:** Management of injuries to the inferior vena cava. *American Journal of Surgery* 110(11) 759~763 (1965)
- 5) **Weichert, R.F. and Hewitt, R.L.:** Injuries to the inferior vena cava. *The Journal of Trauma* 10(8) 649~657 (1970)
- 6) **Allen, T.W., et al.:** Surgical management of aortic trauma. *The Journal of Trauma* 12(10) 862~868 (1972)
- 7) **Dillard, B.M., et al.:** Review of 85 major traumatic arterial injuries. *Surgery* 63(3) 391~395 (1968)
- 8) **Richards, A.J., et al.:** Laceration of abdominal aorta and study of intact abdominal wall as tamponade. *Annals of Surgery* 164(8) 321~324 ((1966)
- 9) **Sankaran, S., et al.:** Thoracic aortic clamping for prophylaxis against sudden cardiac arrest during laparotomy for acute massive hemoperitoneum. *The Journal of Trauma* 15(4) 290~297 (1975)
- 10) **Ledgerwood, A.M., et al.:** The role of thoracic aortic occlusion for massive hemoperitoneum. *The Journal of Trauma* 16(8) 610~615 (1976)
- 11) **Edwards, W.S., et al.:** Intraluminal aortic occlusion as a possible mechanism for controlling massive intra-abdominal hemorrhage. *Surgical Forum* 4 496~499 (1954)
- 12) **Hughes, W.:** Use of an intra-aortic balloon catheter tamponade for controlling intra-abdominal hemorrhage in man. *Surgery* 36(1) 65~68 (1954)
- 13) **Hesse, F.G. and Kletschka, H.D.:** Rupture of abdominal aortic aneurysm. *Annals of Surgery* 155(2) 320~322 (1962)
- 14) **McCaughan, J.J. and Young, J.M.:** Intra-arterial occlusion in vascular surgery. *Annals of Surgery* 171(5) 695~703 (1970)

- 15) **Foster, J.H., et al.** : Proximal control of aorta with a balloon catheter. *Surgery Gynecology & Obstetrics* 132(4) 693~694 (1971)
- 16) **Robicsek, F., et al.** : The elective use of balloon obstruction in aortic surgery. *Surgery* 68(5) 774~777 (1970)
- 17) **Howard, E.R. and Young, A.E.** : Control of aortic haemorrhage by balloon catheter. *British Medical journal* 3 161 (1971)
- 18) **Berkowitz, H.D., Roberts, B., et al.** : New technique for control of ruptured abdominal aortic aneurysm. *Surgery Gynecology & Obstetrics* 133(7) 107~109 (1971)
- 19) **Heimbecker, R.O., et al.** : An aortic tampon. *Canad Med Assoc J* 91 1024~1027 (1964)
- 20) **Smith, F.G.** : Emergency control of ruptured abdominal aortic aneurysm by transaxillary balloon catheter. *Vascular Surgery* 6 79~84 (1972)
- 21) **Anastacio, C.N. and Ochsener, E.C.** : Use of Fogarty catheter tamponade for ruptured abdominal aortic aneurysms. *American Journal of Roentgenol* 128(1) 31~33 (1977)
- 22) **Hatfield, D.R., et al.** : Intraoperative control of an ascending aortic pseudoaneurysm by Fogarty balloon catheter. *Technical Notes* 135(5) 515~517 (1980)
- 23) **Hyde, G.L., et al.** : Fogarty catheter tamponade of ruptured abdominal aortic aneurysms. *Surgery Gynecology & Obstetrics* 154(2) 197~199 (1982)
- 24) **Straube, K.R.** : Self-placing balloon streamer for aortic occlusion. *Angiology* 19 534~540 (1968)
- 25) 富田悦朗・ほか : 左総腸骨動脈吻合部に発生した仮性動脈瘤切迫破裂の手術経験. *手術* 37(10) 1161~1165 (1983)
- 26) **Smiley, K. and Perry, M.O.** : Balloon catheter tamponade of major vascular wounds. *American Journal of Surgery* 121(3) 326~327 (1971)
- 27) **Paster, S.B., et al.** : Percutaneous balloon catheterization. *JAMA* 230(4) 573~575 (1974)
- 28) **Sheldon, G.F. and Winestock, D.P.** : Hemorrhage from open pelvic fracture controlled intraoperatively with balloon catheter. *The Journal of Trauma* 18(1) 68~70 (1978)
- 29) **Berkowitz, H.D. and Shetty, S.** : Renin release and renal cortical ischemia following aortic cross-clamping. *109(11)* 612~617 (1974)
- 30) **Strandness, D.E., et al.** : Mechanism of declamping shock in operations on the abdominal aorta. *Surgery* 50(3) 488~492 (1961)
- 31) **Lunn, J.K., et al.** : Cardiovascular responses to clamping of the aorta during epidural and general anesthesia. *Anesth Analg* 58(5) 372~376 (1979)
- 32) **Lim, R.C., et al.** : Metabolic and tissue blood flow changes resulting from aortic cross-clamping. *Surgery* 65(2) 304~310 (1969)
- 33) **Thompson, J.E., et al.** : Prevention of hypotensive and renal complications of aortic surgery using balanced salt solution. *Annals of Surgery* 167(5) 767~778 (1968)
- 34) **Bush, H.L., et al.** : Assessment of myocardial performance and optimal volume loading during elective abdominal aortic aneurysm resection. *Arch Surg* 112 1301~1306 (1977)
- 35) **Walker, P.M. and Johnston, K.W.** : Changes in cardiac output during major vascular surgery. *The American Journal of Surgery* 140(11) 603~605 (1980)
- 36) **Dunn, E., et al.** : The effect of abdominal aortic cross-clamping on myocardial function. *Journal of Surgical Research* 22(5) 463~468 (1977)
- 37) **Gooding, J.M., et al.** : Hemodynamic response to infrarenal aortic-clamping in patients with and without coronary artery disease. *Critical care medicine* 8(7) 382~385 (1980)
- 38) **Thomas, T.V.** : Aortic declamping shock. *American heart Journal* 81(6) 845~847 (1971)
- 39) **Oyama, M., et al.** : The effects of thoracic aortic cross-clamping and declamping on visceral organ blood flow. *Annals of Surgery* 197(4) 459~463 (1983)