

the main body to the site of the hypogastric ostium. Using the same technique, we estimated the stent graft length with the calibrated catheter. (Fig. 2) Finally, completion angiography was used to check for proper alignment of the stent graft and to confirm that there were no endoleaks.

In procedures without IVUS, IACA are usually required in the following steps: (1) 20 ml of contrast agent from the pigtail catheter for measuring the distance from the renal artery to the ipsilateral iliac bifurcation before main body delivery; (2) 15 ml for accurately measuring proximal non-aneurysmal aortic neck length; (3) 10 ml from the femoral sheath introducer system for taking the contralateral leg measurement; (4) in the same way, 10 ml from the sheath for taking the ipsilateral leg measurement (Zenith® only) in the same fashion as (3); and (5) 20 ml from the pigtail catheter for the completion angiography. When we used the contrast agent according to the procedure mentioned above, patients in the non-IVUS group and IVUS group required at least 65–75 ml and 0–20 ml of IACA, respectively. However, our primary focus was to avoid type I endoleak rather than reduce the amount of IACA used. Consequently, additional IACA was used to perform multiple completion angiographies in some cases.

Renal function was defined using the CKD (chronic kidney disease) staging system (National Kidney Foundation/Kidney Disease Outcomes Quality Initiative – NFK/KDOQI).⁹ Severe renal deterioration was defined as more than two down-staging.

Where appropriate, unpaired Student's *t*-tests were used to make comparisons between treatment groups. Significance was defined as $p < 0.05$.

Results

Patients in the IVUS group received significantly less IACA than patients in the non-IVUS group (67 ± 34 ml vs. 123 ± 50 ml; $p < 0.01$). (Table 1) Furthermore, less IACA (39 ± 14 ml) was required for a subgroup of the IVUS group, consisting of 17 patients with renal dysfunction or a suspected allergy to IACA, for whom we specifically chose to use IVUS to reduce their exposure to IACA.

As shown in Table 1, cerebrovascular disease, and respiratory and renal dysfunctions were more often co-morbid in the IVUS group - this indicates that patients in this group were at higher risk for surgery.

Blood loss (IVUS vs. non-IVUS: 172 ± 135 ml vs. 165 ± 135 ml; $p > 0.05$) and operation time (IVUS vs. non-IVUS: 157 ± 45 min vs. 165 ± 76 min; $p > 0.05$) were comparable between the two treatment groups, indicating that the IVUS procedure did not impose any additional intra-operative surgical stress during the EVAR procedures.

No patients died within 30 days of the operation; there were no IVUS manoeuvre-related complications. Two patients, who had EVAR performed exclusively with IVUS, received re-interventions during the follow-up period. Two patients required dialysis after developing renal failure, and one patient experienced a postoperative increase in creatinine levels (up to 2.9 mg dl^{-1}) – all three of these patients belonged to the non-IVUS group, had normal renal function preoperatively and had shaggy abdominal and/or thoracic aortas. In the IVUS group, no patients with renal

insufficiency experienced deterioration after the procedure. CKD staging was examined in both groups. In the IVUS group, five cases of down-staging (one case decreased by two stages) and four cases of up-staging were found. In the non-IVUS group, 29 cases of down-staging (4 cases decreased 2 stages, and 1 case decreased 3 stages), and 14 cases of up-staging were observed. Renal deterioration was found more frequently in the non-IVUS group (IVUS vs. non-IVUS; 15% vs. 36%, $p = 0.02$). In the subgroup of IVUS that suffered renal dysfunction or contrast allergy (17 cases), there were two cases of down-staging (one case decreased by two stages) and two cases of up-staging (subgroup of IVUS vs. non-IVUS; 11% vs. 36%, $p = 0.04$).

EVAR was performed exclusively with IVUS in seven cases. The average operation time was 134 ± 108 min, during which time 144 ± 59 ml of blood was lost. Although statistical comparisons were not possible, these values were consistently lower than for the patients in the non-IVUS group. There were one intra-operative wire trouble and one postoperative complication observed in this IACA-free group. The intra-operative wire trouble occurred in an 86-year-old patient with a short aneurysmal neck. We had planned to deploy a Palmaz® stent (Cordis Corporation, Bridgewater, NJ, USA) into the stent graft trunk. However, the edge of stent was hooked on the flow divider and did not expand completely. After confirming the patient's peripheral flow, we terminated the procedure. The single postoperative complication occurred in a 63-year-old female patient with renal insufficiency. The patient was re-admitted to our hospital after complaining of pain in her left lower extremity after undergoing EVAR without IACA 16 days earlier. Her ankle-brachial index (ABI) had dropped from 0.8 to 0.45 and an ultrasound revealed an occlusion in the left stent graft leg. We performed a thrombectomy and found that the stent had developed a kink. We also performed balloon expansion for the kinked site.

Postoperative computed tomography (CT) angiography revealed that the use of IVUS enabled accurate landing of the devices within 5 mm of their targets in all 16 patients in whom we encountered anatomical difficulties. In such cases, we were able to use IVUS in combination with IACA because patients had satisfactory renal functioning. The use of IVUS allowed us to omit several steps of IACA, although we had to use IACA to a greater extent for precise device delivery in anatomically difficult cases. As a result, there were no significant differences in the amount of IACA used in the group requiring IVUS for anatomical reasons (118 ± 43 ml) and in the non-IVUS group (123 ± 50 ml) ($p > 0.05$).

Discussion

The 8.2-F monorail system of IVUS is a simple and less-invasive auxiliary method. Our analyses indicate that there were no significant differences in operation time or blood loss between patients in the IVUS and non-IVUS groups. In addition, IVUS catheter manoeuvres themselves did not cause any major adverse events. Usage of IVUS does not appear to have any contraindications for EVAR procedures, nor does IVUS have any obvious drawbacks. We encourage

the routine use of this technique because of its harmlessness and convenience.

IACA plays two important roles in stent graft delivery: facilitating detection of endoleaks and verifying aortic morphology. Incomplete endovascular exclusion causes increases in intrasac pressure, leading to a high risk of late rupture.^{10,11} We confirmed the absence of type I endoleaks by carefully observing any direct leakage into the aneurysmal sac and by confirming any backflow from collateral arteries (e.g., lumbar, inferior mesenteric and sacral medial arteries) towards the sac.¹¹ We also employed completion angiography to reveal the aortic morphology of the deployed stent graft.

Initially, IVUS was mainly used for determining graft size.^{3,4} Commercial stent grafts have been improved since their usage began, and are now made in a variety of sizes adapted to a wide range of intra-operative situations. The resolution in the early days of IVUS imaging was insufficient for detecting aortic branches; one study found that both arteries could only be detected in 63% of EVAR patients.⁵ By 2003, IVUS techniques had become so efficient that some claimed that angiography was not necessary.⁸ However, among the seven IACA-free cases of EVAR in this study, one developed a leg occlusion 16 days after experiencing intra-operative procedural difficulties. If we had used IACA, the intra-operative procedures would have been easier and the kinking would have been easily detected. Contrast-enhanced ultrasonography could be useful in some cases for detecting endoleaks, although it has some limitations; obesity and bowel gas can interfere with scanning. Furthermore, the examination is operator-dependent and requires specific skills and training.¹² We are considering the combined use of IVUS and contrast-enhanced ultrasound in cases of contraindication regarding contrast agents. Another weakness of IVUS is that it is not useful for independently confirming type I endoleaks, which are the most common cause of postoperative rupture.¹¹ For these reasons, we conclude that we cannot confirm graft exclusion accuracy without performing completion angiography.

Proximal type I endoleak is sometimes a problem in cases of hostile aneurysmal necks.¹³ Precise measurement is critical for maintaining the landing area for as long as possible. Slovut reports that the SOS catheter set in the renal artery can minimise the number of cine runs needed to verify graft positioning during deployment,¹⁴ which results in a comparatively low renal artery occlusion rate (0.6%). To avoid renal artery embolisation and dissection, we did not use wire cannulation or balloon occlusion. In addition, when we used the C-arm, we performed cranial rotation to adjust the renal artery ostium parallax because most infrarenal AAAs tended to meander in the ventral direction. One of the potential benefits of combining IVUS and IACA is the ability to double-check the precise position of the stent graft.

Distal type I endoleaks caused by AAAs accompanied by common iliac artery aneurysms can be very difficult to fix. In such cases, we set the peripheral edge of the leg just above the hypogastric artery ostium so that arterial flow was maintained. A landing zone of at least 1 cm is necessary, and precise placement is sometimes difficult because the ostium of the hypogastric artery is separated from the external iliac artery by the C-arm. In such cases, we usually

used IVUS for detecting the ostium site – this can be done without the use of IACA.

Another important use of IVUS is measuring the distance between aortic branches. In many cases of AAA, iliac arteries in the IACA images overlapped with the ostium of the hypogastric artery. To produce images that show a clear separation of the branches, it was necessary to swing the C-arm at exaggerated angles that were difficult for operators to achieve and maintain. Rotation of the C-arm also increases both patients' and operators' exposure to intra-operative radiation. Thus, using IVUS saves time and energy, and creates a safer work environment.

Thus far, no drawbacks of IVUS usage have been identified. We found that both the IVUS and non-IVUS groups had no mortality within the 30-day postoperative period, and that there were no major operation-related complications in the IVUS group, despite its higher co-morbid risk.

We successfully reduced the use of IACA. Furthermore, it is interesting to note that renal deterioration was found more frequently in the non-IVUS group, indicating the beneficial effect of IVUS usage. However, the limitation regarding the renal function is related to the ambiguous and operator-dependent criteria of assigning patients to the IVUS group. Indeed, there was a rough threshold of creatinine level (1.4 mg dl^{-1}). However, this should be evaluated with glomerular filtration rate (GFR) and CKD staging, preoperatively. We should take the causes of renal dysfunction into account when evaluating results. There are assumed to be two causes of renal dysfunction: nephrotoxicity in response to contrast agents and nephropathy due to cholesterol crystal embolisation (CCE) – both can be difficult to distinguish. Contrast agents induce renal vasoconstriction and interfere with water and sodium absorption by the renal tubules, leading to increased vascular resistance and decreased GFR.¹⁵ In cases of chronic renal insufficiency, contrast agents are excreted more slowly, which in turn increases the risk of nephrotoxicity.¹⁶

Shaggy aorta is thought to be a strong risk factor for CCE.¹⁷ In the present study, all three individuals, who experienced renal deterioration, had shaggy aortas above their renal arteries. Because these patients had previously demonstrated good renal function and belonged to the non-IVUS group, it appears that CCE and the use of contrast agents might have been responsible for these renal failures.

Previously, carbon dioxide (CO₂) angiography was used as an alternative method to IACA in patients with pre-existing renal dysfunction.^{18,19} In the present study, we opted to use IVUS for device deployment to reduce the volume of contrast agent required for the procedure. In addition, we used conventional IACA to perform the completion angiography. Although CO₂ angiography is not currently used by many endovascular surgeons, its ability to produce high-quality images and reduce the risk of complications is noteworthy.¹⁸ In addition, some authors report that CO₂ angiography is highly sensitive in pinpointing endoleaks, which is possibly due to the fact that CO₂ fills the sac earlier due to its low viscosity.¹⁹ However, some negative reviews of CO₂ angiography exist. For example, Lee reports that renal arteries are not satisfactorily shown,¹⁸ whereas Chao points out that this technique requires longer fluoroscopy and operating-room times and increases exposure to radiation.¹⁹ Therefore, while it does

not seem that CO₂ angiography could completely replace IACA, it might successfully be combined with IVUS to improve EVAR performance.

In conclusion, IVUS is a powerful auxiliary method in EVAR for reducing the required volume of contrast agent, as well as saving the time and labour required for rotating the C-arm, thereby reducing unnecessary radiation exposure among both patients and operators. The quality and simplicity of IVUS imaging has improved over the past decade – it is both an effective and comparatively stress-free method. However, exclusive use of IVUS carries a risk of complications because it is not possible to evaluate endoleaks and stent alignment. Thus, we recommend the routine use of IVUS during EVAR procedures, but stress that IACA are usually a necessary component of this technique. Furthermore, we suggest that use of these two methods should be determined on a case-by-case basis.

Conflict of Interest/Funding

None.

References

- Pearce BJ, Jordan WD. Using IVUS during Evar and TEVAR: improving patient outcomes. *Semin Vasc Surg* 2009;22:172–80.
- White RA, Donayre C, Kopchok G, Walot I, Wilson E, deVirgilio C. Intravascular ultrasound: the ultimate tool for abdominal aortic aneurysm assessment and endovascular graft delivery. *J Endovasc Ther* 1997;4:45–55.
- Verbin C, Scocciati M, Kopchok G, Donayre C, White RA. Comparison of the utility of CT scans and intravascular ultrasound in endovascular aortic grafting. *Ann Vasc Surg* 1995;9:434–40.
- Garrett HE, Abdullah AH, Hodgkiss TD, Burgar SR. Intravascular ultrasound aids in the performance of endovascular repair of abdominal aortic aneurysm. *J Vasc Surg* 2003;37:615–8.
- Vogt KC, Brunkwall J, Malina M, Ivancev K, Lindblad B, Risberg B, et al. The use of intravascular ultrasound as control procedure for the deployment of endovascular stented grafts. *Eur J Vasc Endovasc Surg* 1997;13:592–6.
- Kriegel AV, Salles-Cunha S, Pigott JP, Beebe HG. Intravascular ultrasound for arterial visualization: a feasibility study. *J Endovasc Surg* 1996;3:429–34.
- White RA, Donayre CE, Walot I, Kopchok GE, Wilson E, Heilbron M, et al. Modular bifurcation endoprosthesis for treatment of abdominal aortic aneurysms. *Ann Surg* 1997;226:381–91.
- Segesser LK, Marty B, Ruchat P, Bogen M, Gallino A. Routine use of intravascular ultrasound for endovascular aneurysm repair: angiography is not necessary. *Eur J Vasc Endovasc Surg* 2002;23:537–42.
- National Kidney Foundation. K/DOQI clinical practice guidelines for chronic kidney disease: evaluation, classification, and stratification. *Am J Kidney Dis* 2002;39:S1–266.
- Palodi JC, Berguer R, Ferreira LM, Mura RL, Schermerhorn ML. Intra-aneurysmal pressure after incomplete endovascular exclusion. *J Vasc Surg* 2001;33:909–14.
- Schlösser FJV, Gusberg RJ, Dardik A, Lin PH, Verhagen HJM, Moll FL, et al. Aneurysm rupture after EVAR: can the ultimate failure be predicted? *Eur J Vasc Endovasc Surg* 2009;37:15–22.
- Napoli V, Bargellini I, Sardella SG, Petrucci P, Cioni R, Vignali C, et al. Abdominal aortic aneurysm: contrast-enhanced US for missed endoleaks after endoluminal repair. *Radiology* 2004;233:217–25.
- Dias NV, Resch T, Malina M, Lindblad B, Ivancev K. Intra-operative proximal endoleaks during AAA stent-graft repair: evaluation of risk factors and treatment with Palmaz stents. *J Endovasc Ther* 2001;8:268–73.
- Slovut DP, Ofstein LC, Bacharach JM. Endoluminal AAA repair using intravascular ultrasound for graft planning and deployment: a 2-year community-based experience. *J Endovasc Ther* 2003;10:463–75.
- El Sayed AA, Haylor JL, El Nahas AM, Salzano S, Morcos SK. Haemodynamic effects of water-soluble contrast media on the isolated perfused rat kidney. *Br J Radiol* 1991;64:435–9.
- Mehta M, Veith FJ, Lipsitz EC, Ohki T, Russwurm G, Cayne NS, et al. Is elevated creatinine level a contraindication to endovascular aneurysm repair? *J Vasc Surg* 2004;39:118–23.
- Meyrier A. Cholesterol crystal embolism: diagnosis and treatment. *Kidney International* 2006;69:1308–12.
- Lee AD, Hall RG. An evaluation of the carbon dioxide angiography in endovascular aortic aneurysm repair. *Vasc Endovascular Surg Epub*; 2010 Mar 22.
- Chao A, Major K, Kumar SR, Patel K, Trujillo I, Hood DB, et al. Carbon dioxide digital subtraction angiography-assisted endovascular aortic aneurysm repair in the azotemic patient. *J Vasc Surg* 2007;45:451–60.

答
2

感染性腹部大動脈瘤緊急手術時の治療方針;特に人工血管の選択について(1)

東京大学 血管外科 重松 邦広、宮田 哲郎

今回テーマとしてとりあげられた感染性腹部大動脈瘤緊急手術時の治療方針については、岩橋先生が述べられているように、十分な感染コントロールをおこなった上での外科手術が望ましいが、急速な瘤径拡大を認めて感染のコントロールが十分でない状態において、救急手術に踏み切らざるを得ない症例もあり、それぞれの症例においてそれぞれの段階で有用であると考えられる治療法を選択していかねばならないことも多い。

今回、岩橋先生からご質問の4点について、感染性大動脈瘤の中では治療する機会の多い腎動脈下の感染性腹部大動脈瘤に限って、われわれの施設において日ごろ行ってきた術式を中心に、その選択基準などを簡単に述べたい。

われわれの施設においても、感染性腹部大動脈瘤が疑われる症例の場合、可能であればまず broad spectrum の抗生剤による感染の鎮静化をはかり、完全に消失しないまでも鎮静化が図れた状態で手術を考慮している。このため、術前の血液培養で起炎菌の同定が可能である場合には、感受性結果を参考に抗生剤投与を行い、血液検査ならびに発熱などの臨床経過により感染・炎症の推移を注意深く見ながら、CT 検査や腹部超音波検査を頻回に行い、画像検査においても経過を追うことにしている。拡大傾向がなければ、鎮静化を図れるまで抗生剤投与を継続して、可能な限り細菌数の減少を図って手術に臨む方針としている。

通常、上記の方針に従って感染・炎症の消退を待ち、開腹手術で感染瘤壁の可及的全切除を行った上で解剖学的血行再建・大網充填術を基本方針・術式としている。大網の充填方法は、成書の記されている術式と大きく変わることなく、横行結腸から大網を外したうえで、中結腸動脈の左側で横行結腸間膜に穴をあけて retro-colic に大網をグラフト周囲に誘導し、グラフト全長にわたり全周性に完全に大網で被覆する(図1)。

術前に十分な感染のコントロールができていない症例で、解剖学的な再建を行った場合には、再建後のグラフト感染や炎症の遷延が危惧される。しかしながら、感染のコントロールができない場合にはその代替術式である非解剖学的再建術を行っても、大動脈の断端が残り、その blow out を危惧することになり、解剖学的再建・非解剖学的再建術いずれの術式を選択しても、致命的な合併症に至る可能性が残る。このため、当科においては、断端へ直接的な大動脈圧の負荷がかからぬように大網充填を付加した解剖学的再建術を選択している(図1)。また、感染が十分コントロールできていない症例においては、通常の腎動脈下大動脈瘤の際の中枢吻合と同様に行い、グラフトが感染創内を通らないように結腸間膜の背側を通る左後腹膜経路で感染創を大きく迂回する形の Y 字型置換術を行い、末梢吻合を腸骨動脈に

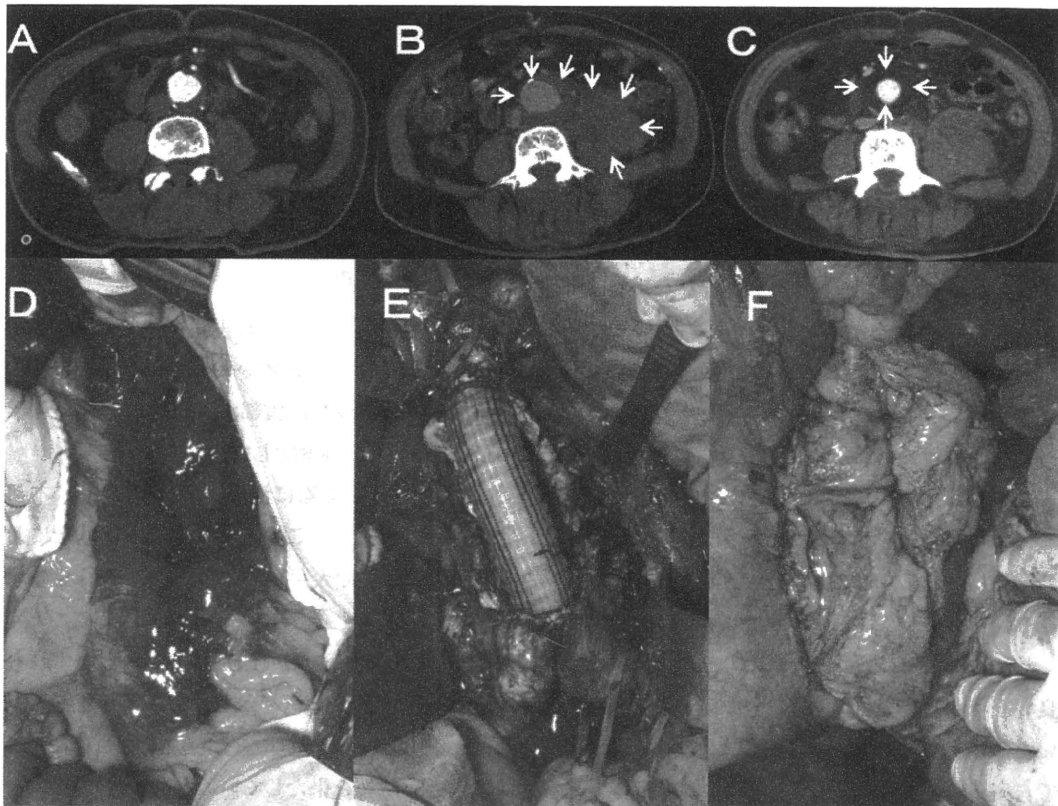


図1：66歳、男性。径3cmの腎動脈下腹部大動脈瘤を経過観察されていた。腎盂腎炎による38度を超える発熱が4日間持続し、WBC40,000、CRP16.9と高度な炎症所見を認め、血液培養から大腸菌が検出された。5日目になり左腰部痛を認めた。感染性腹部大動脈瘤破裂と診断し救急手術施行。術後は大きな問題なく術後1カ月で退院となった。

A)半年前のCT検査所見。腎動脈下腹部大動脈瘤(径3cm)を認めた。

B)発熱5日目のCT検査所見。瘤は最大径4.5cmと急速拡大。左後腹膜に血腫を認め、感染性大動脈瘤の破裂と診断された。

C)救急手術後5日目のCT検査所見。解剖学的再建された直型人工血管の周囲全周性に大網が被覆・充填されている。膿瘍は認めない。

D)救急手術時開腹所見。左後腹膜に血腫を認めた。

E)左側壁の破裂孔を含めて感染瘤壁を可及的に切除し、解剖学的再建術を行った。瘤周囲の膿瘍からも大腸菌が検出された。

F)人工血管の周囲に、大網をretro-colicに誘導して全周性に被覆充填した。

おく工夫を行うこともある。この場合も大網を大きく遊離してグラフトに大網を巻きつけるとともに、感染巣であった瘤を切除した部位に大網充填する。

非解剖学的再建術は、グラフトを感染巣から離れた部位におくことができる点で、特に感染のコントロールに難渋する可能性のあるMRSAによる感染性大動脈瘤などにおいては有用であるとも考えられるが、前述のごとく感染の遷延する近傍に腎動脈下の大動脈断端がすることになり、blow outが危惧される。このため古典的には大動脈の断端閉鎖部を椎体の骨膜など自家材を用いて補強する工夫もなされてきた。しかしながら自験例で、腹部大動脈瘤術後グラフト感染症例で、MRSA感染グラフト除去、椎体骨膜による大動脈断端補強、腋窩両側大腿動脈バイパス術を施行した症例で、大動脈断端のblow outは

若手の疑問に答える

きたさなかったものの MRSA 椎間板炎を来し、敗血症で失った症例を経験している。

この5年間に、6例の感染性大動脈瘤において全例大網充填を付加した解剖学的血行再建術を行い、現在までのところ中枢吻合部の破綻や敗血症などの合併症は見ず、術後の経過は全例良好である。

岩橋先生が述べられているように、緊急手術時には時間的制約も多く、特に破裂症例などでは浅大腿静脈などの自家静脈の採取や、ホモグラフトの shipping を待つことも困難である。また、感染性動脈瘤に有用とされる銀コート的人工血管も本邦では入手できない。

リファンピシンを浸漬したゼラチンコートダクロン人工血管を用いた in-situ 血行再建術が有用であると報告¹⁾されてから、われわれの施設では原則としてリファンピシン浸漬ゼラチンコートダクロン人工血管を代用血管として用いてきた。このために、感染性大動脈瘤に限らず、破裂性腹部大動脈瘤などの救急手術に対応可能であるため、ゼラチンコートダクロン人工血管を手術室に常備としてある。

なお、リファンピシンをゼラチンコートダクロン人工血管に浸漬させる際に注意すべきことは、本邦で入手可能なリファンピシンは、注射製剤でなく経口剤であることである。このため当施設では欧米において使用されている 600mg/vial のリファンピシン注を個人輸入の形で入手し、施設の倫理委員会の承認を得て、報告されている 60mg/ml の濃度¹⁾で使用してきた。

リファンピシン浸漬ゼラチンコートダクロン人工血管やホモグラフト²⁾や ePTFE グラフト³⁾のいずれも良い成績が報告されている一方で、どのグラフトを用いても感染のコントロールができずに不幸な転帰にいたる症例も一定頻度認めること^{1)~3)}から、術後の成績は、代用血管の材質や、その加工法のみによって左右されるものではなく、感染の制御自体もその成績に大きな役割を果たしているためと考えられる。すなわち compromised host である場合には、やはり外科手術や抗生剤による感染対策のみならず栄養・免疫なども含めた集学的な治療が必要であると考えている。また、解剖学的再建を行う際の key point はやはり感染に対する防御機構としての大網の役割であり、解剖学的再建と大網充填術は術式として切り離せない1セットのものである。

われわれは大網充填を行う際には、前述のように防御機構としての大網を十分に活用することで外科的感染対策として、感染巣のドレナージ目的のドレーンは留置していない。すなわち、手術の際に感染瘤壁を十分に切除し、周囲組織のデブリードメントも徹底的に行った上で、生理食塩水 5 - 10L 程度で後腹膜の洗浄を行い、その後に大網充填を行うことで外科的な感染対策としており、術後の持続的ドレナージのためのドレーン挿入も行っていない。

開腹創は一期的に閉創しており、二次的な閉創は行っていない。しかし、毎日の創観察は必要であり、創感染が疑われる場合には、開放創にしてドレナージを行うのは当然である。しかし、実際にはわれわれの施設では少なくとも major な創感染の経験はない。

術後の抗生物質は長期間使用することにしており、臨床的に大きな問題がない場合においても、術後入院期間中である2週間程度は経静脈的に感受性のある抗生剤を投与し、それ以後も経口の抗生剤を最低6ヵ月間は投与するようにしている。

以上、われわれの施設における感染性腹部大動脈瘤手術の基本術式を中心に述べた。先に述べたように、症例ごとに考慮すべき点も多く、悩ましい選択を迫られることの多い疾患であるが、各施設の基本術式を中心に、今後もそれぞれの施設における経験などを集積して、少しずつ改良されていくことが望まれる。

■ 文 献

- 1) Oderich GS, Panneton JM, Bower TC, et al : Infected aortic aneurysms : aggressive presentation, complicated early outcome but durable results. J Vasc Surg. 2001 ; 34 : 900-908
- 2) Noel AA, Gloviczki P, Cherry Jr KJ, et al : Abdominal aortic reconstruction in infected fields : early results of the United States cryopreserved aortic allograft registry. J Vasc Surg. 2002 ; 35 : 847-852
- 3) Miller JH : Partial replacement of an infected arterial graft by a new prosthetic polytetrafluoroethylene segment : a new therapeutic option. J Vasc Surg. 1993 ; 17 : 546-558

手術 第64巻 第11号 平成22年10月15日発行 別刷

Operation

特集 手術偶発症を減らす手技の工夫

腹部大動脈瘤
—ステントグラフト内挿術を安全に行うために—

保科 克行 宮田 哲郎

金原出版株式会社

腹部大動脈瘤

—ステントグラフト内挿術を安全に行うために—

保科 克行* 宮田 哲郎*

はじめに

腹部大動脈瘤の治療は、本邦においては瘤切除、人工血管置換術が主流であった。対して、欧米ではステントグラフト治療が1990年代から始まり、デバイスや手技は進化を遂げ開腹手術を凌駕する成績を上げてきた。2006年に厚生労働省によりステントグラフト治療が認可され、遅ればせながら始まったこの治療は燎原火の如く広がった。創は鼠径部の小切開のみで(図1)、手術翌朝から食事をし、数日で退院していくその低侵襲性は患者にとって魅力的である。しかし、新しい治療というものは往々にして初期の重大な合併症、偶発症を伴うことが多い。このlearning curveをshort cutするために設立されたのが、関連10学会構成ステントグラフト実施基準管理委員会である。同委員会による実施施設および実施医・指導医の基準設定により、初期から高い有効性、安全性が確保されてきたことは、本邦の腹部大動脈瘤患者にとって幸いなことであった。

欧米に比して肥満患者が少ないためか、本邦の開腹手術成績は良好である。周術期死亡率はhigh volume centerでは1%を切るところもあ

る。当科でもこの10年で0.3%、5年では約200例中死亡例なしであり、手術手技としては安定している。しかし、hostile abdomen症例やハイリスク患者には今後ステントグラフト治療が主流となる可能性が高い¹⁾。本稿では、まだ一般外科医に認知の薄いステントグラフト治療について、偶発症の発生を最小限にするための基本手技と工夫について記述する。

I. 動脈の巾着糸かけ

両側の鼠径部斜切開をおき、大腿動脈を露出する。鼠径靭帯が見えるレベルでテーピングをかける(二重にかけると出血時にコントロールが容易)。肥満患者の場合は鼠径靭帯を多少切りあげてもよい。弱彎の5-0プロリン[®]で左右二重の巾着縫合をかけ、糸にはターニケットをかける。筆者は数針薄く(全層ではない)かけている。この方法だと、最後はそれを結紮するだけで(わずかに狭小化するが)刺入孔の閉鎖が可能である。また、後腹膜経由の腸骨動脈アクセス時も、視野が不良な中でターニケットを閉めれば止血が可能である。これはすべての操作の基本となる。

II. アクセス不良時の対処

腸骨動脈の硬化性変化によって、動脈の狭窄・閉塞を認めることがある(図2)。この場

* Katsuyuki HOSHINA et al. 東京大学血管外科

key words : 腹部大動脈瘤, ステントグラフト



図 1 開腹手術とステントグラフト手術

開腹手術は大きな正中切開となるが、ステントグラフト手術は両側の鼠径部切開のみである。



図 2 外腸骨動脈狭窄を伴う症例

ステントグラフト留置後に狭窄部にステントを重ねることで脚閉塞を予防できる。

合、バルーン拡張を行って、シースを上げていく(図3)。抵抗があった場合回転をかけながら進めていくが、①画像上動脈石灰化がシースの動きに連動する場合、②押し入れたのち、力を抜くと元の位置に戻ってくる場合は、撤退することが重要である。この場合、①バルーン拡張をやりなおす、②対側からアプローチする、③アクセスサイトを後腹膜経由での腸骨動脈に変更する、などの方法を考慮する。また、外腸骨動脈に狭窄がかかっている場合は、必ずステ

ントを留置して内腔を保持する。それによって術後の脚閉塞のリスクを減らすことができる(図2)。

【参考】破裂に備える

もっとも緊急性が高い偶発症は、破裂・血管損傷である。アクセスが不良の症例で、無理にデバイスをあげていったときに起こりやすい。図4に破裂症例を示す。バルーン拡張中に急に血圧が30mmHgほど低下し、シースから造影すると血管外漏出を認めたため、すぐにその

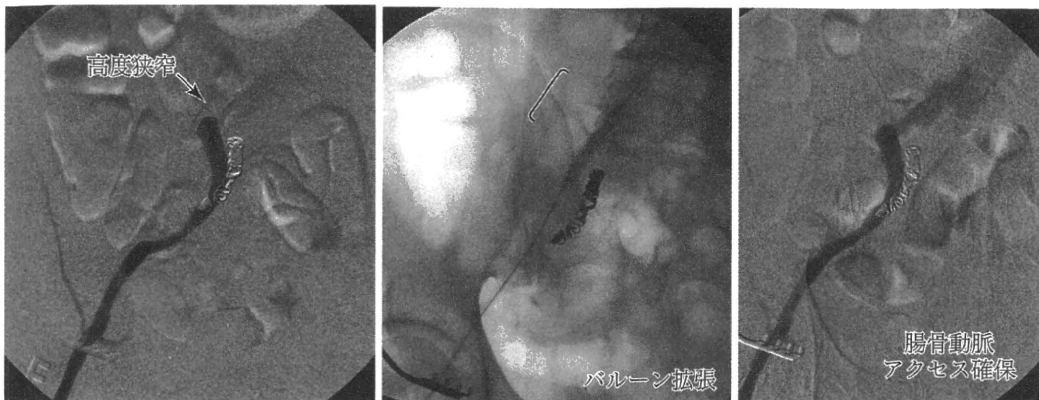


図3 アクセスの確保
狭窄部をバルーン拡張してアクセスルートを確認する。

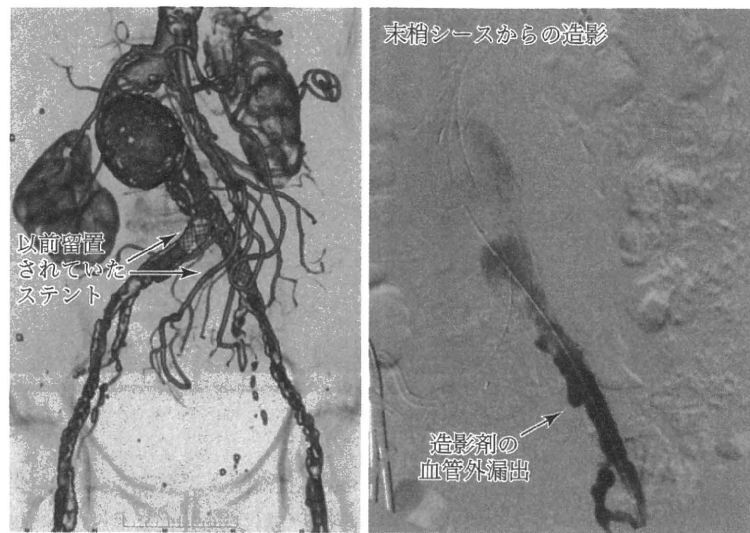


図4 アクセスがきわめて悪い例 (左図)
外腸骨動脈は2~3mm径の部位が散在した。バルーン拡張をしながらシースの出し入れを繰り返していたところ、破裂を来した (右図)。

中枢にバルーンをあげて血流をクランプした。血圧は安定したため、傍腹直筋切開から後腹膜経由で外腸骨動脈の損傷部に至った (図5)。総腸骨動脈から直接穿刺しステントグラフト留置を完遂後、損傷部を修復した。とくに原因のない血圧の低下時には必ず確認造影を行うことが重要である。ワイヤーが入っているので中枢バルーンクランプは容易であり、破裂時の鉄則と考える。

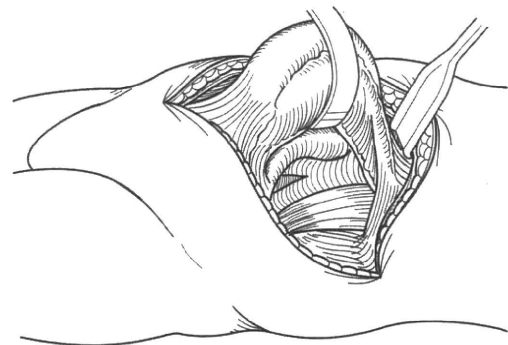


図5 後腹膜アプローチ
後腹膜から腸骨動脈へのアプローチも慣れておきたい³⁾。

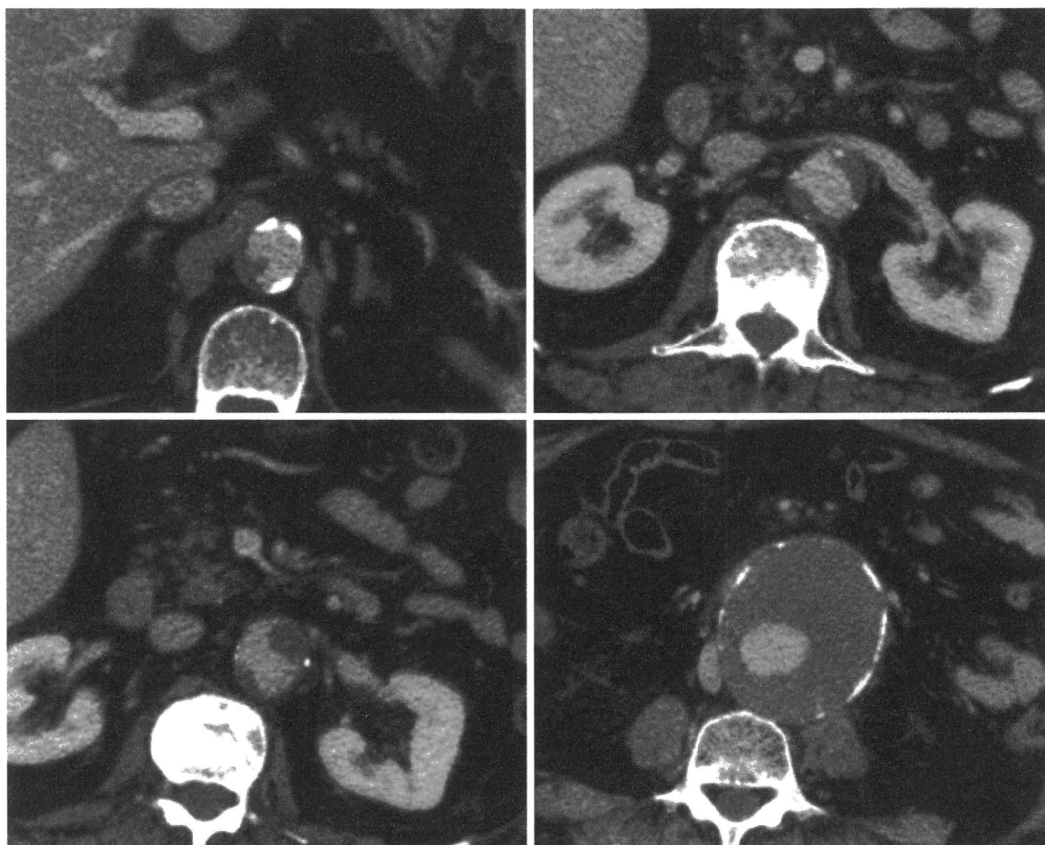


図 6 アテローム血栓多量付着例
腎動脈付近に突出した血栓や、ほぼ全周性の血栓も認める。

III. ワイヤー操作をていねいに

シースやデバイスを挿入する前のステップとして、まずやわらかいガイドワイヤーをカテーテルとともに挿入し、その後硬いワイヤーに交換する。硬いワイヤーは屈曲した動脈および瘤を直線化しその後のデバイス留置を容易にする目的があるが、その反面、動脈壁内への物理的刺激は大きいと思われる。Shaggy aorta や突出した局所の壁在血栓の存在する症例（図 6）では、透視で常にワイヤー（とくに先端）操作を確認しながら行うことが重要である。弓部大動脈に血栓が多い場合は、ワイヤー先端を下行大動脈より中樞に運ばない。

IV. 腎機能不良の場合

腹部大動脈瘤患者は腎機能不良の割合が高い。造影剤由来の腎機能障害はある一定の割合で起こるため、できるかぎり減量したい。そのためにわれわれが使用しているのは血管内超音波（intravascular ultrasound: IVUS）である（図 7）。術中造影剤使用は留置部位の同定と、エンドリークの判定に必要である。前者に関しては、すべて IVUS で代用可能である。エンドリークの確認を省略すれば造影剤なしで手技を完了することができ、造影剤は不要という報告もある²⁾。筆者も 7 例に行ったが、1 例に術後脚閉塞を認めた。やはりエンドリークの確認な



図7 血管内超音波

しでは治療の質をさげると考え、現在は最終造影だけは行うようにしている。その結果、図8のように造影剤量を減らすことができた。IVUSでの検索はそれほど手間ではないので、ルーティンに使用してもよいと思われる。

V. 肥満症例

食生活の変化とともに、本邦でも肥満症例が増えている。ステントグラフト手術では、鼠径部の展開さえしっかり行えば(図9)、開腹手術時の脂肪の‘海’をかきわけのような苦労はない。ただしCアーム型透視装置を使用するときには、透視時間が長くなると管球が焼ききれてしまう可能性がある。透視時間を短くすることは、管球の問題もさながら、患者および術者の被曝を減らす意味でも心掛けたい。また、術後に鼠径部の創が不潔になりやすいので注意する。

VI. 下肢の脈を確認

手技が一通り終わり、シースやカテーテルをすべて抜去した後に、必ず下肢の脈を確認する

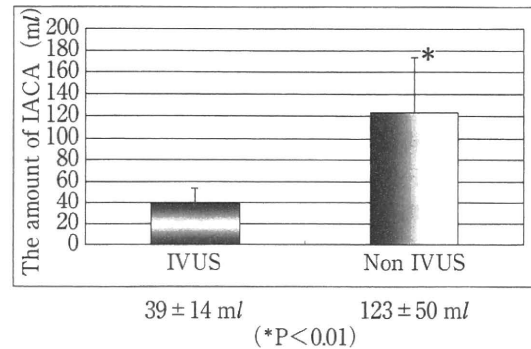


図8 造影剤減量のためにIVUSを使用した群(10例)とIVUS非使用群(69例)の比較



図9 肥満症例の術野展開

鼠径部の展開のため、粘着力の強いテープで固定する。

こと。アクセス不良の症例では、シースを抜去するときに内膜と一緒に剝離されてくることもある。大腿動脈の刺入部の末梢を確認すること。剝離内膜は刺入部にひっかかっていることが多いので、すぐ中枢側は圧が伝わって拍動を触知する。これは内膜損傷を見逃す一因である。脈の減弱を感じ、迷ったら必ず内腔を確認し補修することが重要である。

おわりに

ステントグラフトに限らず手術一般にいえることは、ルーティンワークにのって行われることがもっともリスクが少なく侵襲も少ない。術者、助手、ナース、放射線技師のすべてが手順についてよく理解することで、手術時間の短縮、出血量の減少などにつながる。

ステントグラフト手術は創が小さく侵襲は少ないが、瘤内で起こっていることはdynamicな血流動態の変更である。ゆえに一歩誤ると大きなトラブルのもととなる。偶発症の種類によっては、緊急開腹手術やバイパス手術などによって救命が必要な場合もある。術者が両手技

に熟達していることが望ましいが、そうでない場合は血管外科医もしくは心臓外科医のバックアップが必要である。

文 献

- 1) 保科克行ほか：消化器癌術後 Stage4 患者に対する EVAR の意義. 総合臨床 58 : 1471-1473, 2009
- 2) von Segesser LK et al : Routine use of intravascular ultrasound for endovascular aneurysm repair : angiography is not necessary. Eur J Vasc Endovasc Surg 23 : 537-542, 2002
- 3) Valentine RJ et al : 重要血管へのアプローチ. メディカル・サイエンス・インターナショナル

* * * * *

* * * *

* * *

腹部大動脈瘤のスクリーニング

東京大学血管外科

宮田哲郎

腹部大動脈瘤の治療目的は①動脈瘤の破裂、②動脈瘤由来の末梢塞栓、③動脈瘤による凝固障害といった三つのリスクを予防することである。なかでも、破裂を予防し生命予後を伸ばすことは最も重要である。腹部大動脈瘤の破裂がさし迫っていない場合は、破裂リスクを回避するための内科治療を行い、破裂の可能性が増大した瘤では、ステントグラフト内挿術（EVAR）を含めた外科治療を優先することが原則である。ひとたび腹部大動脈瘤が破裂すると、救命できるのは僅かに 10-15%しかなく、血管外科の手技や病態生理の理解に伴う術後管理が進歩したにもかかわらず、治療成績の向上はみられていない。

腹部大動脈瘤は破裂しない限り原則として無症状なので、検診や他の疾患の精査などの際に偶然診断されることが多い。このため、無症状の状態での診断・治療が最も重要な疾患のひとつとなっている。腹部大動脈瘤の有無を検診でスクリーニングすることで、動脈瘤による死亡を減少できる可能性についてこれまで検討されてきた。今回の論文の著者グループは MASS(Multicenter aneurysm screening study)で、65 歳から 74 歳までの男性 7 万人弱を対象とし、検診群と非検診群に分けて経過を追った結果、1 回の検診を行っただけで 4 年、7 年経過しても、腹部大動脈瘤関連死亡が検診群で明らかに少ないことを示してきた。1 回の検診の効果が長期に渡って持続するのであれば、それにつれて費用対効果はますます大きくなる。イギリスではこの研究結果により腹部大動脈瘤の検診が保険適応となった。更に 10 年経過しても、初回の検診の効果が持続するのかどうか検証したのがこの論文である。その結果、検診は 10 年経っても有効であることが明らかになった。検診により、腹部大動脈瘤関連死亡は非検診群に比較して 4 年で 42%、7 年で 47%、10 年で 48%減少した。初回の検診でほぼ正常と診断された例でも時間が経つと動脈瘤破裂が発生し、8 年以降に急増することも示されたが、8 年以降も非検診群の動脈瘤破裂死亡が多いため、検診群の有効性がなくなるまでには至らなかった。

腹部大動脈瘤検診プログラムの有効性を高めるには、初回と追跡期の受診率向上、簡便で精度の高い検診法の開発、腹部大動脈瘤の治療成績向上が求められる。初回の検診で異常を指摘されなかった人に、いつ再検診をするのが適切なのかは、動脈瘤関連死亡減少と、費用対効果の観点から今後の検討課題である。費用対効果は国の医療制度の違いにより異なってくるうえ、治療方法の変化の影響も受ける。MASS においては腹部大動脈瘤の治療で EVAR が行われたのは 9%に過ぎなかった。今後腹部大動脈瘤の治療方法として EVAR が増えてくるのは明らかであり、費用対効果は改めて評価する必要があると思われる。我が国でも腹部大動脈瘤検診の効果を評価する時期になっている。

急性大動脈症候群とは： 診療ガイドライン作成を めざして

▶ *Acute aortic syndrome*

宮田哲郎（東京大学大学院医学系研究科外科学専攻血管外科学）

「急性大動脈症候群」とは急性大動脈解離および大動脈瘤破裂・切迫破裂の総称である（図1）。急性大動脈症候群を構成する大動脈瘤破裂の死亡率は90%，大動脈解離でも破裂による病院到着前死亡率が70%と、重篤な病態であるにもかかわらず、破裂までは無症状である。健康であると思われていた人に突然発症することが多く、生命予後がきわめて不良な病態であるため、破裂前のスクリーニングにより高リスク群を早期診断することが待望されている。しかし、年間患者数が大動脈瘤1万6,000人、大動脈解離は9,000人（2002年厚生労働省統計）と希少疾患であることから、「急性大動脈症候群」発症の高リスク群同定に関する研究の進展は遅いのが現状である。

現在、大動脈解離に関しては発生予測は不可能で、瘤破裂に関してもせいぜい画像診断での「大動脈瘤径」、「瘤形態」と「拡張スピード」ぐらいしか予測指標はない。発症リスクの増大を予知しその発症を未然に防ぐ、予防治療のための指針を含めたわが国における診療ガイドライン作成が求められている。そのためにもこの疾患の実態を明らかにしつつ、病態の発生メカニズムや大動脈壁脆弱化・瘤拡張など進展メカニズムを解明し、病態を抑制・制御する特異的治療開発に結びつく研究が必要とされている。本稿では特に腹部大動脈瘤について、現在明らかになっている急性大動脈症候群につながる動脈瘤発症、進展の病態、リスク因子に関して解説する。

疫学

2002年厚生労働省統計によると、年間患者数が大動脈瘤1万6,000人、大動脈解離は9,000人である。血管外科学会が行ったアンケート調査による過去の動脈瘤の手術数と腹部大動脈瘤の術後在院死亡率の推移を示す(図2, 3)。また、2008年の動脈瘤手術の詳細を表1に示す。腹部大動脈瘤手術7,906例のうち、待機手術が7,110例で手術死亡が27例(0.4%)、破裂に対する手術が796例で手術死亡が121例(15.2%)であった。破裂症例で手術にまで至らなかった患者が相当数いるということを考慮すると、破裂前の治療が不可欠であることを改めて示している。

病態

(1) 発症メカニズム

動脈瘤の発症メカニズムに関しては詳細にはわかっていない。4cm以上の腹部大動脈瘤をもっていることを疑うための独立因子は表2のとおりである¹⁾。特に高齢、男性、喫煙歴の三つが最も大きな危険因子となっている。しかしながら、これらの因子は必ずしも動脈瘤の原因であるとは断定できない。

腹部大動脈瘤の発生原因の一つとして遺伝素因が指摘されている。腹部大動脈瘤治療を受けた患者の親、子、兄弟(姉妹)に腹部大動脈瘤を有する割合は、15~25%であり、年齢補正をし

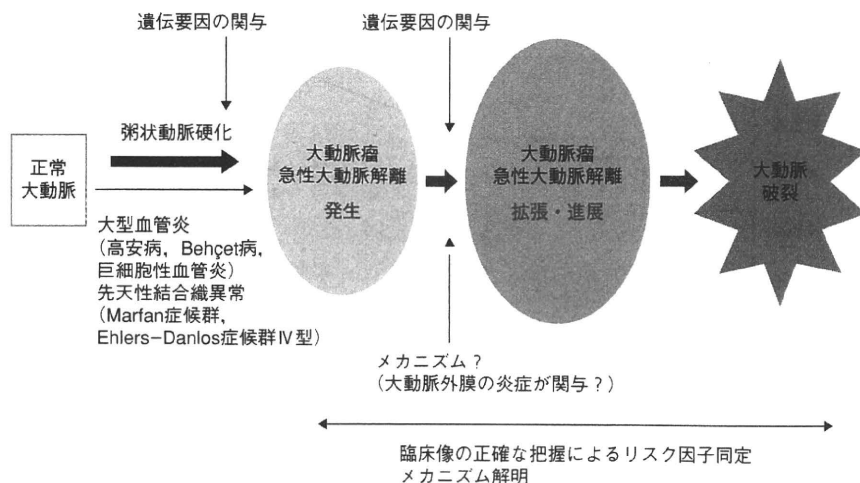


図1 急性大動脈症候群

たコントロール群の2~3%に比較して優位に高い²⁻⁵⁾。患者が女性の場合、家族の腹部大動脈瘤保有率は上昇し12%で、患者が男性の場合の7%に比較して高い⁶⁾。腹部大動脈瘤患者の親、子、兄弟(姉妹)が腹部大動脈瘤をもつ確率は一般集団の12倍となる⁵⁾。腹部大動脈瘤患者の兄弟が腹部大動脈瘤をもつ確率は18倍で、50~60歳代に発症する³⁾。家族性腹部大動脈瘤患者では女性が多く、平均年齢は5~7歳若年である^{3,4)}。

(2) 進展メカニズム

動脈瘤の径・形状、拡張速度が破裂を予測する大きな要素であるが、その一方で、破裂性腹部大動脈瘤の10~24%は、瘤径が5cm以下であったとの報告もみられる^{7,8)}。このため、動脈瘤の径・形状、拡張速度に加え、それ以外の瘤特異的な破裂危険因子の存

在にも留意する必要がある。

●動脈瘤径・形状

紡錘形の動脈瘤の場合、最大横径が大きくなるほど壁の張力が増加し、5.5cmを超えると破裂する可能性が増大する⁹⁾。最大横径6.5cmの瘤で一年間の破裂率が20%、7.5cmの瘤で30%という数字や¹⁰⁾、6cm以上の動脈瘤は少なくとも年10%の破裂率であるとの報告がされている^{11,12)}。5~6cmの動脈瘤が破裂しやすいか否かについては議論がなされている。5cm以上の動脈瘤は5年破裂率が25%とのデータがあるが、これは6cm以上の瘤を一緒にして検討しているという欠点があった¹³⁾。5~5.9cmの動脈瘤の破裂率は3.4%であったとの報告もあり¹⁴⁾、そのサイズでは破裂頻度がかなり低いことは確かだと思われる¹⁵⁾。

5.5cm以下の動脈瘤に対する治療方針を決定するためのRCTが二つ報告

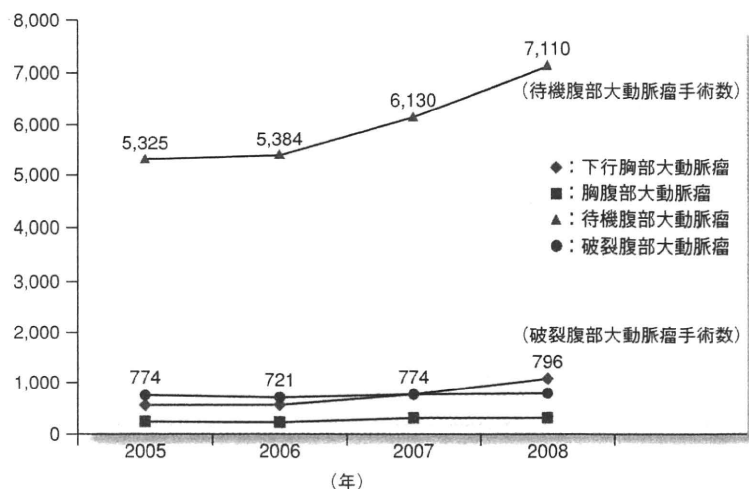


図2 わが国の腹部大動脈瘤手術数の推移(日本血管外科学会アンケート調査より)

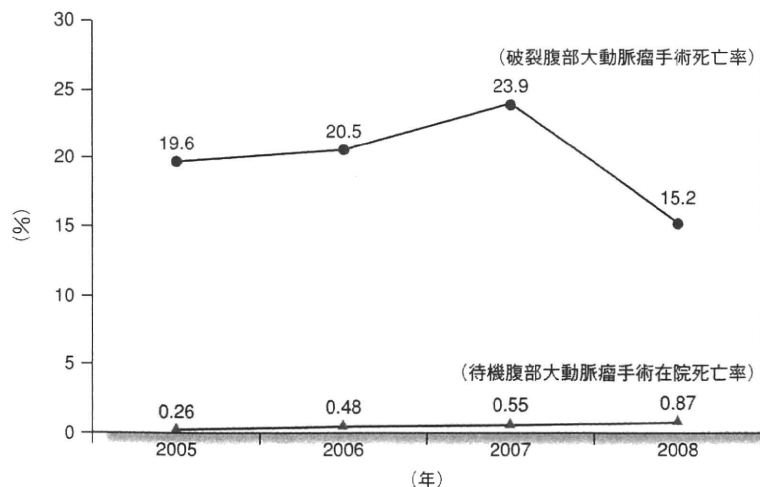


図3 わが国の腹部大動脈瘤早期死亡率の推移(日本血管外科学会アンケート調査より)

表1 動脈瘤手術数と手術死亡率
(2008年日本血管外科学会アンケート調査より)

瘤部位	総数			待機手術数			破裂手術数		
	手術	術死	死亡率(%)	手術	術死	死亡率(%)	手術	術死	死亡率(%)
胸部下行	1,214	42	3.5	1,086	19	1.7	128	23	18.0
胸腹部	376	32	8.5	336	16	4.8	40	16	40.0
腹部	7,906	148	1.9	7,110	27	0.4	796	121	15.2
合計	9,496	222	2.3	8,532	62	0.7	964	160	16.6

されている^{16,17)}。一つは英国で行われた研究で、4.0~5.5cmの腹部大動脈瘤をもつ患者を早期手術群(n=563)と経過観察群(n=527)に分け平均4.6年間追跡した。経過観察中に動脈瘤径が5.5cmを超えるようであれば手術し、一次転帰を患者の死亡とした。この結果、手術群と経過観察群では遠隔期の死亡率に差がなく、動脈瘤サイズが小さい時期の破裂が少ないことが確認された¹⁶⁾。もう一方は米国で行われ、同様に4.0~5.4cmの腹部大動脈瘤を早期手術群(n=569)と経過観察群(n=567)に分けて、平均4.8年追跡し、一次転帰をやはり患者の死亡とした。この結果、遠隔期死亡に二群間で差はなかった¹⁷⁾。これらの結果から、腹部大動脈瘤は5.5cm以上に拡大するまで破裂の危険は少ないとの結論になるが、二つのRCTで経過観察群の60%以上が試験期間中に5.5cm以上となったことは注目に値する。動脈瘤は確実に拡大していくことが改めて確認できた。また、女性の破裂率が男性の4倍もあったことも明らかになった。

大動脈瘤の形状では紡錘形の動脈瘤よりも嚢状の動脈瘤のほうが破裂の危険が高いといわれている¹⁸⁾。瘤径の議

論は紡錘形の瘤の場合であり、嚢状瘤では5cmに達しなくても、破裂のリスクが高い。このことは直感的にも推測されていたが、Vorpらはコンピュータを用いて、非対称に突出した瘤では壁張力が増大することを示した¹⁹⁾。さらに、Fillingerらはコンピュータの三次元モデルを用いて壁張力の計算を發展させ、計算した壁張力値が最大横径より正確に破裂の可能性を推定できるとしている²⁰⁾。この他、紡錘形瘤の一部がさらに突出している形状の場合も破裂しやすい^{21,22)}。

● 拡張速度

5～6cmの動脈瘤がそのサイズでは破裂しないのであれば、瘤が拡張して6cm以上となるまでの時間、いわゆる拡張速度が問題となる。拡張速度は3～3.9cmで2.0mm/年、4～4.9cmで3.4mm/年、5～5.9cmで6.4mm/年であるとの研究がある²³⁾。この拡張速度に影響を与える因子に喫煙がある。喫煙はこの拡張速度を20～25%増加させるともいわれている^{23,26)}。

● その他

高血圧、COPD、女性、喫煙などが動脈瘤破裂の独立した危険因子として報告されている。UKSATでは登録された2,257症例を7年以上追跡した結果、103例の破裂を認め、破裂の独立した危険因子は、女性(調整ハザード比3.0)、診断時大動脈瘤径(2.94/cm)、未喫煙者(0.65)、禁煙者(0.59)、平均血圧(1.02/mmHg)、呼吸機能1秒量：FEV1(0.62/L)であった(表3)⁷⁾。喫煙者の腹部大動脈瘤破裂あるいは破裂に

表2 腹部大動脈瘤と診断されるリスク因子(文献1より引用)

リスク因子	odds ratio	95%CI
増加因子		
喫煙歴	5.1	4.1～6.2
腹部大動脈瘤家族歴	1.9	1.6～2.3
高齢(7歳間隔)	1.7	1.6～1.8
冠動脈疾患	1.5	1.4～1.7
コレステロール高値	1.4	1.3～1.6
慢性閉塞性肺疾患	1.2	1.1～1.4
身長(7cm間隔)	1.2	1.1～1.3
低下因子		
5年以内の腹部画像検査歴	0.8	0.7～0.9
深部静脈血栓症	0.7	0.5～0.8
糖尿病	0.5	0.5～0.6
黒人	0.5	0.4～0.7
女性	0.2	0.1～0.5

表3 腹部大動脈瘤破裂のリスク因子(文献7より引用)

リスク因子	調整ハザード比	95%CI
女性	3.0	1.99～4.53
診断時大動脈瘤径	2.94/cm	2.49～3.48
未喫煙者	0.65	0.27～1.53
禁煙者	0.59	0.39～0.89
平均血圧	1.02/mmHg	1.00～1.03
呼吸機能FEV1	0.62/L	0.45～0.46

よる死亡は、非喫煙者や禁煙をした者より高いことが確認されている^{7,27)}。

腹部大動脈瘤の家族歴の有無で動脈瘤の存在だけでなく、破裂の危険も増加する。親、子、兄弟(姉妹)に腹部大動脈瘤が2人いると破裂頻度は15%、3人で29%、4人以上で36%となる⁴⁾。家族性の動脈瘤では女性の破裂率が30%に対して、男性は17%と低値である。家族性腹部大動脈瘤では破裂頻度が32%だが、非家族性の場合には9%

に過ぎず、しかも破裂は家族性の場合10年早く発生する³⁾、など多くの報告がなされている。

おわりに

働き盛りの「一見健康」にみえる国民に前触れもなく襲いかかる生命予後不良のこの疾患群は救急医療に対して大きな負担をもたらしているのみならず、

幸い緊急手術で救命しえても後遺症を残し、発症者のQOL低下は著しく、社会的損失も大きい。わが国における「急性大動脈症候群」の疾患概念を確立するためには、これから大規模なデー

タ収集を行い、大動脈破裂に至るリスク因子を同定、発症予測因子を明らかにすることが必要となってくる。家族性の因子も大きく影響することから、最適治療選択、予防治療につながるガ

イドライン作成に向けて、急性大動脈症候群につながる遺伝子レベルでの検討も進めなければならない。

文献

- 1) Lederle FA, Johnson GR, Wilson SE, et al: The aneurysm detection and management study screening program: validation cohort and final results. *Aneurysm Detection and Management Veterans Affairs Cooperative Study Investigators. Arch Intern Med* 160(10): 1425-1430, 2000.
- 2) Cronenwett JL, Likosky DS, Russell MT, et al: A regional registry for quality assurance and improvement: the Vascular Study Group of Northern New England (VSGNNE). *J Vasc Surg* 46(6): 1093-1101; discussion 1101-1102, 2007.
- 3) Verloes A, Sakalihasan N, Koulischer L, Limet R: Aneurysms of the abdominal aorta: familial and genetic aspects in three hundred thirteen pedigrees. *J Vasc Surg* 21(4): 646-655, 1995.
- 4) Darling RC 3rd, Brewster DC, Darling RC, et al: Are familial abdominal aortic aneurysms different? *J Vasc Surg* 10(1): 39-43, 1989.
- 5) Johansen K, Koepsell T: Familial tendency for abdominal aortic aneurysms. *JAMA* 256(14): 1934-1936, 1986.
- 6) Powell JT, Greenhalgh RM: Multifactorial inheritance of abdominal aortic aneurysm. *Eur J Vasc Surg* 1(1): 29-31, 1987.
- 7) Brown LC, Powell JT: Risk factors for aneurysm rupture in patients kept under ultrasound surveillance. UK Small Aneurysm Trial Participants. *Ann Surg* 230(3): 289-296; discussion 296-297, 1999.
- 8) Nicholls SC, Gardner JB, Meissner MH, Johansen HK: Rupture in small abdominal aortic aneurysms. *J Vasc Surg* 28(5): 884-888, 1998.
- 9) Powell JT, Greenhalgh RM: Clinical practice. Small abdominal aortic aneurysms. *N Engl J Med* 348(19): 1895-1901, 2003.
- 10) Lederle FA: Risk of rupture of large abdominal aortic aneurysms. Disagreement among vascular surgeons. *Arch Intern Med* 156(9): 1007-1009, 1996.
- 11) Szilagyi DE, Smith RF, DeRusso FJ, et al: Contribution of abdominal aortic aneurysmectomy to prolongation of life. *Ann Surg* 164(4): 678-699, 1966.
- 12) Foster JH, Bolasny BL, Gobbel WG Jr, Scott HW Jr: Comparative study of elective resection and expectant treatment of abdominal aortic aneurysm. *Surg Gynecol Obstet* 129(1): 1-9, 1969.
- 13) Nevitt MP: Abdominal aortic aneurysm. *N Engl J Med* 329(17): 1276; discussion 1276-1277, 1993.
- 14) Brown PM, Pattenden R, Vernooy C, et al: Selective management of abdominal aortic aneurysms in a prospective measurement program. *J Vasc Surg* 23(2): 213-220; discussion 221-222, 1996.
- 15) Brewster DC, Cronenwett JL, Hallett JW Jr, et al: Guidelines for the treatment of abdominal aortic aneurysms. Report of a subcommittee of the Joint Council of the American Association for Vascular Surgery and Society for Vascular Surgery. *J Vasc Surg* 37(5): 1106-1117, 2003.
- 16) Mortality results for randomised controlled trial of early elective surgery or ultrasonographic surveillance for small abdominal aortic aneurysms. The UK Small Aneurysm Trial Participants. *Lancet* 352(9141): 1649-1655, 1998.
- 17) Lederle FA, Wilson SE, Johnson GR, et al: Immediate repair compared with surveillance of small abdominal aortic aneurysms. *N Engl J Med* 346(19): 1437-1444, 2002.
- 18) Sterpetti AV, Cavallaro A, Cavallari N, et al: Factors influencing the rupture of abdominal aortic aneurysms. *Surg Gynecol Obstet* 173(3): 175-178, 1991.
- 19) Vorp DA, Raghavan ML, Webster MW: Mechanical wall stress in abdominal aortic aneurysm: influence of diameter and asymmetry. *J Vasc Surg* 27(4): 632-639, 1998.
- 20) Fillinger MF, Raghavan ML, Marra SP, et al: In vivo analysis of mechanical wall stress and abdominal aortic aneurysm rupture risk. *J Vasc Surg* 36(3): 589-597, 2002.
- 21) Faggioli GL, Stella A, Gargiulo M, et al: Morphology of small aneurysms: definition and impact on risk of rupture. *Am J Surg* 168(2): 131-135, 1994.
- 22) Hunter GC, Smyth SH, Aguirre ML, et al: Incidence and histologic characteristics of blebs in patients with abdominal aortic aneurysms. *J Vasc Surg* 24(1): 93-101, 1996.
- 23) Vardulaki KA, Prevost TC, Walker NM, et al: Growth rates and risk of rupture of abdominal aortic aneurysms. *Br J Surg* 85(12): 1674-1680, 1998.
- 24) Wilmink TB, Quick CR, Day NE: The association between cigarette smoking and abdominal aortic aneurysms. *J Vasc Surg* 30(6): 1099-1105, 1999.
- 25) MacSweeney ST, Ellis M, Worrell PC, et al: Smoking and growth rate of small abdominal aortic aneurysms. *Lancet* 344(8923): 651-652, 1994.
- 26) Chang JB, Stein TA, Liu JP, Dunn ME: Risk factors associated with rapid growth of small abdominal aortic aneurysms. *Surgery* 121(2): 117-122, 1997.
- 27) Strachan DP: Predictors of death from aortic aneurysm among middle-aged men: the Whitehall study. *Br J Surg* 78(4): 401-404, 1991.