

—原 著—

心臓血管外科領域における
小口径溝型シリコン製ドレーンチューブの吸引能に対する実験的検討
従来型胸腔ドレーンチューブとの比較

田畑美弥子¹ 梅津 光生² 落 雅美¹ 清水 一雄¹¹日本医科大学大学院医学研究科機能制御再生外科学²早稲田大学理工学部

Experimental Assessment of the Drainage Capacity of Small Fluted Silastic Drains in Cardiovascular
Surgery: Comparison with the Conventional Chest Tubes

Mimiko Tabata¹, Mitsuo Umezu², Masami Ochi¹ and Kazuo Shimizu¹¹Department of Biological Regulation and Regenerative Surgery, Graduate School of Medicine, Nippon Medical School²Department of Mechanical Engineering, Waseda University, Tokyo

Abstract

Background: Cardiac surgery requires the placement of drains in the mediastinum, pericardial space, and pleural spaces at the end of the procedure. Recently, small, flexible, fluted silicone drains have been widely used after cardiac surgery. Although preliminary reports suggest that small silastic drains are superior to conventional rigid large-bore chest tubes, there has been no experimental comparison of the drainage capacity of these drains under similar conditions. To compare the efficacy of smaller silastic drains and conventional chest tubes, a three-part in vitro and two-part in vivo experiment was performed.

Methods: In the first part of the in vitro study, the drainage capacity of 19-F silicone drains and 28-F conventional tubes was tested under steady flow. Both tubes were placed in a water bath and drained at a pressure of 10 mm Hg. In the second part of the in vitro study, the drainage pattern was also visualized. Finally, an anatomically identical apparatus, consisting of a silicone ventricle and a latex-rubber pericardium, was employed to simulate drainage under clinically similar conditions. In the in vivo study, 19-F and 24-F silicone drains and 28-F and 32-F conventional tubes were inserted into the hemithorax or pericardial space of 12 adult pigs. Blood was infused into both chest cavities or pericardial spaces, and the tubes were drained at 15 cmH₂O.

Results: In the in vitro study, the drainage capacity of the conventional chest tubes was 7 times greater than that of the smaller silicone drains. However, in the in vivo pleural drainage test, the drainage capacity of the smaller silicone drains was greater than that of the conventional chest tubes. Additionally, in the in vivo pericardial drainage test, there was no difference in drainage capacity between the two types of tube. Furthermore, the flow visualization test revealed different drainage patterns in the two tubes and showed that the most effective portions were the most proximal slits of the silicone drain and the side holes of

Correspondence to Mimiko Tabata, Department of Biological Regulation and Regenerative Surgery, Graduate School of Medicine, Nippon Medical School, 1-1-5 Sendagi, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8603, Japan

E-mail: mimiko-t@nms.ac.jp

Journal Website (<http://www.nms.ac.jp/jmanms/>)

the conventional chest tube. However, in the in vitro pericardial model, there was no difference in drainage capacity between the two types of tube, as the slits or side holes were completely within the pericardial cavity.

Conclusions: This experiment demonstrated that the smaller silastic chest drains have a sufficient drainage capacity that is almost identical and possibly superior to that of conventional chest tubes.

(日本医科大学医学会雑誌 2008; 4: 88-95)

Key words: small silicone drains, conventional chest tubes, pericardial drainage

緒言

心臓手術後の縦隔・心嚢または胸腔ドレナージは出血のモニター、心タンポナーデの予防、緊張性気胸、胸水貯留の予防などの目的で必要不可欠である。従来使用されている先端に側孔の開いている28Fまたは32Fの硬いプラスチック製ドレナージチューブでは¹⁾、刺入部の痛みのために浅呼吸となり無気肺の原因となったり、歩行制限が生じたりするという問題点がある。近年心臓外科領域でも低侵襲化の普及とともに溝型で小径の柔らかいシリコン製ドレナージチューブが広く使用されるようになってきている。臨床的には刺入部や抜去時の疼痛の軽減、携帯バッグに接続することで早期離床が可能となること、ドレナージ能力も臨床的には劣らないなどの長所が報告されている²⁾。このシリコン製ドレナージチューブに関する研究はほとんどが臨床例であり、同一条件での比較・評価が行われていない。そこで本論文では素材やサイズ、形状の異なるドレナージチューブを生体外での定常流試験、可視化試験、さらに動物実験を行うことにより比較・評価することを目的とした。

研究材料および方法

本試験に使用したドレナージチューブを **Table 1** および **Fig. 1** に示す。

本研究は3種類の生体外での実験および2種類の動物実験によって構成された。生体外の実験としては定常流試験、可視化試験、模擬心嚢によるドレナージ排液量の比較を行った。また動物実験では胸腔ドレナージモデルによる排液量の比較、心嚢ドレナージモデルによる排液量の比較を行った。

ドレナージチューブの形状による流量と吸引パターンの違いを調べるために臨床で主に使用されている19Fシリコン製ドレナージチューブ (Johnson & Johnson,

Somerville, NJ, USA) と28F ソラシックカテーテル (UNITIKA, 東京) を用いて定常流試験と可視化試験を行った。臨床に即した実験としては模擬心嚢モデルを作成し心嚢ドレナージ試験を行った。さらに動物実験では、最近臨床で使用されるようになった24Fシリコン製ドレナージチューブ (Johnson & Johnson, Somerville, NJ, USA) と従来から臨床で使用されている32F ソラシックカテーテル (UNITIKA, 東京) を加えた4種類のドレナージチューブを用いて行った。動物実験はヘルシンキ宣言、動物実験の飼養および保管等に関する基準 (昭和55年3月、総理府告示第6号) を遵守して行った。統計解析はSPSS (Statistical Package for Social Science) バージョン14.0 (SPSS, Chicago, IL, USA) で行った。連続変数の比較はt検定を用い、すべてのp値は両側検定とし、p値<0.05を統計学的有意差ありとみなした。

各実験方法を示す。

定常流試験

実験装置および方法

本実験では19Fシリコン製ドレナージチューブ (シリコンドレナージ) と28F ソラシックカテーテルを用いた。実験装置の模式図を **Fig. 2** に示す。作動流体は水道水 (1.0 cP) と血液の粘度を模擬した3.8 cPのグリセリン水溶液の2種類とし、ドレナージの前負荷を10 mmHg、後負荷を0 mmHgに設定した。前負荷を一定に保つためにポンプを使用してリザーバタンクからオーバーフロータンクに作動流体を汲み上げた。水槽内に留置するドレナージチューブの長さは両者とも200 mmに設定した。シリコンドレナージは溝の部分で切断して溝の長さを100 mmに設定した。排液量を重量法で1分間測定した。また実験はドレナージチューブが生体の組織に覆われていることを模擬するためにドレナージチューブをスポンジに埋没させた場合とスポンジを使用しない場合の2通りで行った。

Table 1 Two different types of drain tube

round Blake hubless silicone drain	19F 24F	Johnson & Johnson, Somerville, NJ, USA
ソラシック-UK- カテーテル (ラウンド型)	28F 32F	UNITIKA, Tokyo, Japan

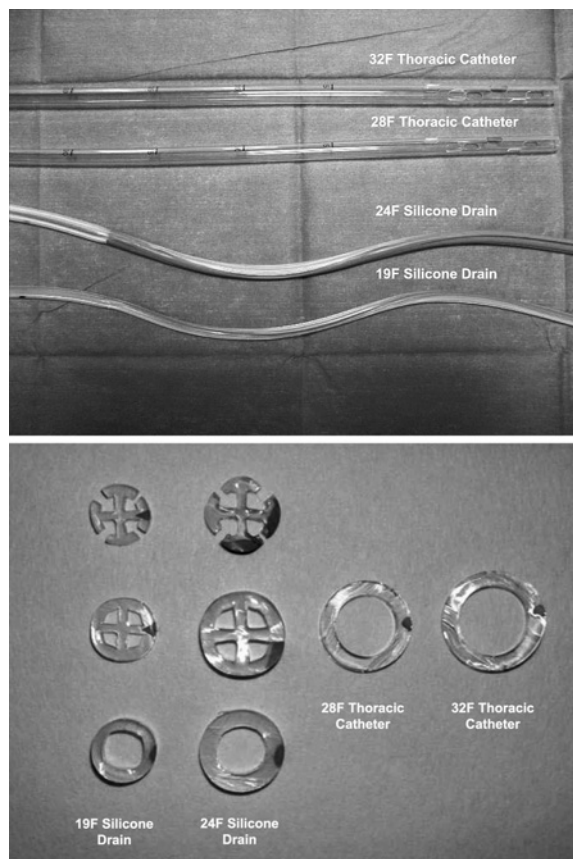


Fig. 1 External appearance and cross section of the thoracic catheters and the small silastic drains.

可視化試験

実験装置および方法

本実験では定常流試験で用いた Fig. 2 の装置を使用した。作動流体は 3.8 cP のグリセリン水溶液とし、グリセリン水溶液を食紅で着色しスポンジ全体に染み込ませ、10 mmHg で排液させることによりスポンジの赤色が消えていく様子を観察した。

模擬心臓によるドレーン排液量の比較

実験装置および方法

本実験では 19F および 24F シリコンドレーンと 28F および 32F ソラシックカテーテルを用いた。シリコンで作成した模擬心臓に心膜を模擬した手術用手袋 (Ultrafree 8; Cardinal Health, McGaw Park, IL, USA) を被覆し模擬心臓を作成した (Fig. 3)。

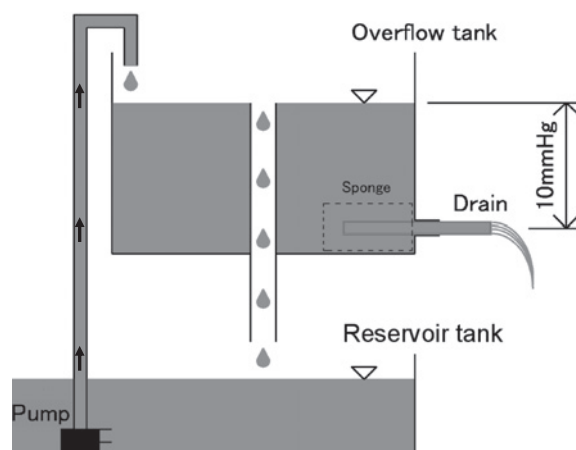


Fig. 2 The apparatus for testing the drain tubes under steady flow.

模擬心臓内に注入用カテーテルと、ドレーンチューブを留置した。空気漏れが完全になくなるようにチューブの刺入部をシリコングルーで覆い、模擬心臓内が完全に閉鎖腔になるようにした。作動流体は食紅で着色した水道水とし、輸液ポンプ (JMS インフューザー M-04; JMS, 東京) を用いて 10 mL/min で注入し、吸引装置 (MERA サキューム MS-008; 泉工医科工業, 東京) を用いてドレーンチューブを 15 cmH₂O で排液し、20 分間計測した。模擬心臓の長軸の傾きを 0 度、45 度、90 度と変化させそれぞれのドレーンチューブについて測定を行った。各ドレーンチューブの排液開始の様子を観察した。

動物実験による胸腔ドレーン排液量の比較

実験方法

対象は 40~42 kg のブタ 12 頭で、全身麻酔下に開胸し左右の胸腔内に注入用カテーテルと、それぞれ異なるドレーンチューブを留置した (Fig. 4a)。19F シリコンドレーンと 28F ソラシックカテーテルを組み合わせ、24F シリコンドレーンと 32F ソラシックカテーテルを組み合わせそれぞれ組み合わせに対して各 6 頭のブタを用いて実験を行った。左右の胸腔のばらつきを配慮して奇数番の実験動物は右胸腔にシリコンドレーンを、偶数番の実験動物には右胸腔にソラシックカテーテルを留置して実験を行った。あらかじめ

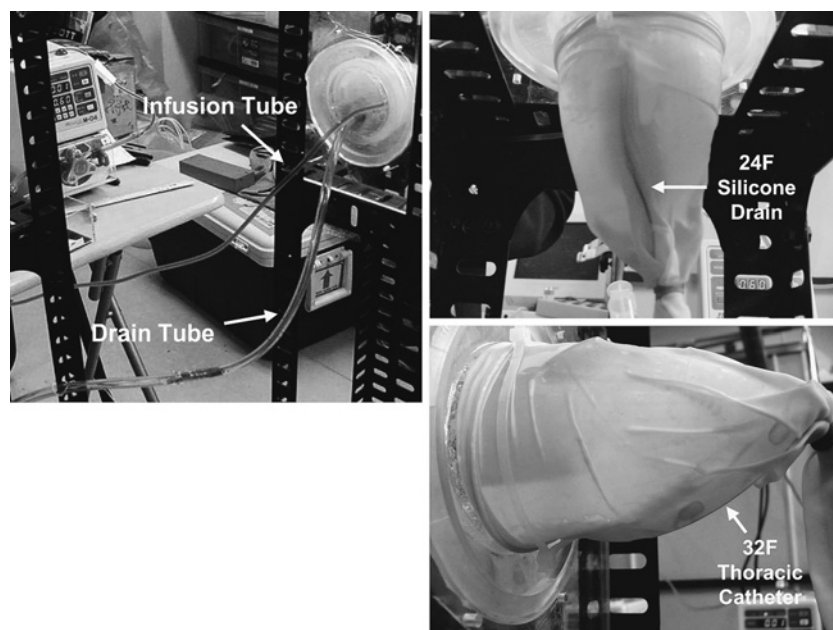


Fig. 3 The apparatus of the in vitro experiment of pericardial drainage.

め同種血液を貯血用バッグ（テルモ血液バック CPDA 400 mL 採血用；テルモ，東京）に採血しておき輸液ポンプを用いて 20 mL/min で注入し，吸引装置を用いて 15 cmH₂O で排液し 30 分間計測を行った。

動物実験による心嚢ドレーン排液量の比較

実験方法

対象は 40～42 kg のブタ 12 頭で，全身麻酔下に胸骨正中切開を行い心嚢内に注入用カテーテルと，種類の異なるドレーンチューブを留置した（Fig. 4b）。実験は 2 頭を同時に行った。1 頭のブタに 19F シリコンドレーンを挿入し，他の 1 頭には 28F ソラシックカテーテルを挿入し実験を行い，19F シリコンドレーンと 28F ソラシックカテーテルの組み合わせの測定後心嚢内を温生食で洗浄後，24F シリコンドレーンと 32F ソラシックカテーテルに入れ替えて同様な測定を行った。実験動物の確保の困難さゆえにこういった方法を採用したが心嚢内に血液や生食が残っていないかについては十分に確認して行った。同様にあらかじめ用意しておいた血液を輸液ポンプを用いて 10 mL/min で心嚢内に注入し，吸引装置を用いて 15 cmH₂O で排液し 20 分間計測を行った。

結果

Table 2 および Fig. 5a, b に定常流試験の結果を示す。排液量は 28F ソラシックカテーテルで 19F シリコンドレーンより 7 倍以上多かった。また，作動流

体の粘度が高くなると 19F シリコンドレーンでは排液量が 24% 減少し，28F ソラシックカテーテルでは 4% 減少した。スポンジの有無で比較すると，スポンジのある場合 28F ソラシックカテーテルでは排液量が 11% 減少したのに対し，19F シリコンドレーンでは変化がなかった。

Fig. 6 は，スポンジの実験開始から 10 分後の様子を上方から撮影したものである。矢印の間がそれぞれのドレーンチューブに溝または側孔が存在する部分である。19F シリコンドレーンでは溝の始まり部分を中心に吸引が始まり，それよりも近位の部分が主に吸引され，28F ソラシックカテーテルでは側孔の部分から吸引が始まり，それよりも遠位の部分が主に吸引されていった。

Fig. 7a に模擬心嚢ドレナージにおける各ドレーンチューブの注入量と排液量の経時変化を示した。10 mL/min (0.6 L/hr) の出血モデルにおいて各ドレーンチューブは種類に関わらず 20 分間の注入量をほぼドレナージしえた。Fig. 7b に注入量と排液量の差，すなわち模擬心嚢内残量の経時変化を示した。残量は注入量の 1.4%～2.7% でありドレーンチューブの種類による差を認めなかった。

模擬心嚢ドレナージにおける排液開始の様子を観察すると各ドレーンチューブで側孔の近位・遠位によらず心膜と心臓の間にできる溝を伝って作動流体が流れ着いた部分から吸引が始まった。ドレーンチューブの最も効果的な吸引部分が最上部に位置した場合でも最下部に位置した場合でも吸引能に差を認めなかった。

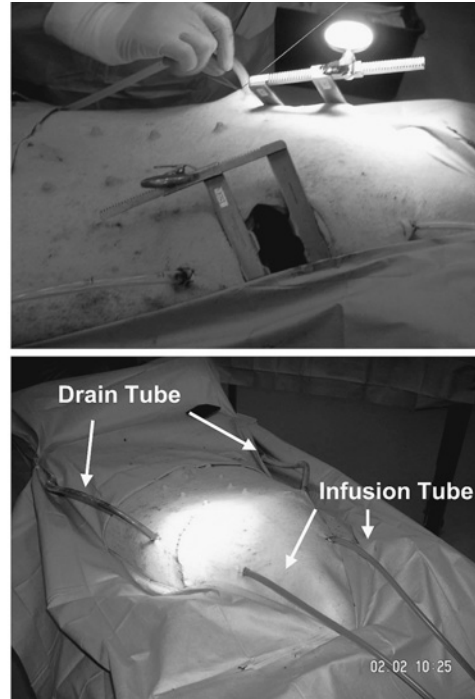
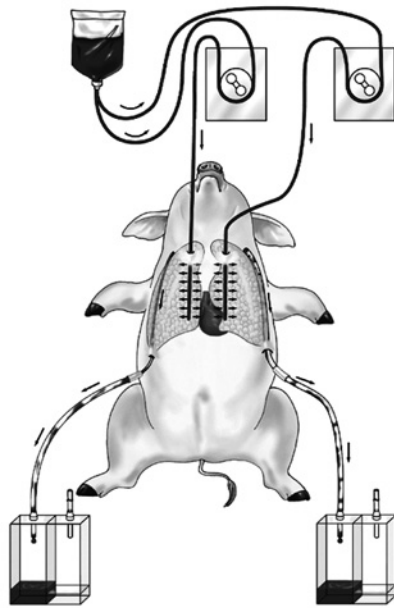


Fig. 4a Schematic drawing of the in vivo experiment of pleural drainage.

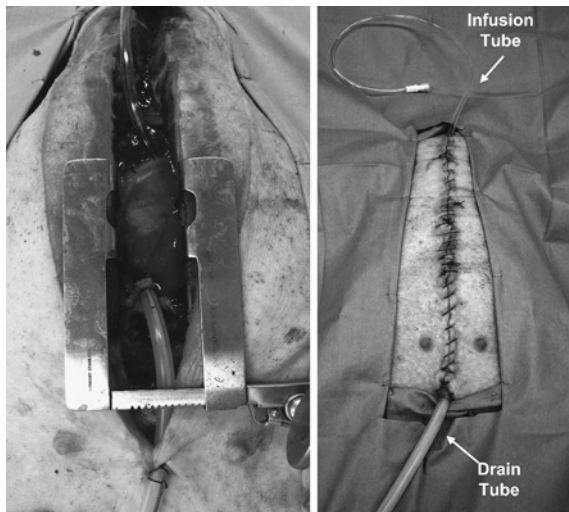


Fig. 4b The set of equipment of the in vivo experiment of pericardial drainage.

Fig. 8a に動物を用いた胸腔ドレナージモデルにおける各ドレenchューブの注入量と排液量の経時変化を、Fig. 8b に注入量と排液量の差、すなわち胸腔内残量の経時変化を示した。20 mL/min (1.2 L/hr) の出血モデルにおいて 28F, 32F ソラシックカテーテル (ソラシックカテーテル群) はともに、19F, 24F のどちらのシリコンドレench (シリコンドレench群) よりも遅れて排液を開始し、ソラシックカテーテル群で常にシリコンドレench群より排液量が少なかった。最終的にわずかな残量が存在し、シリコンドレench群の

ほうがソラシックカテーテル群より残量が少なかった ($p < 0.001$)。

Fig. 9a に動物を用いた心嚢ドレナージモデルにおける各ドレenchチューブの注入量と排液量の経時変化を示した。10 mL/min (0.6 L/hr) の心嚢内出血モデルにおいて各ドレenchチューブは種類に関わらず 20 分間の注入量をほぼドレenchしえた。Fig. 9b に心嚢内残量の経時変化を示した。32Fr ソラシックカテーテルのみ、わずかな残量があったが 4 種類のドレenchチューブで有意差を認めなかった。

考 察

定常流試験における排液量の差異はドレenchチューブの内径の違いによるものと考えられる。流量は断面積に比例するので、28F ソラシックカテーテルで 19F シリコンドレenchより 7 倍以上多くなるが、19F シリコンドレenchでも 10 L/hr 以上のドレenchが可能であるので臨床上吸引能に問題ないと考えられる。また、粘度が高くなるとシリコンドレenchで排液量の減少率が大きかったが、血液と同じ粘度でも 10 L/hr 以上のドレenchが可能であり、臨床上問題ないと考えられた。スポンジの有無でシリコンドレenchは流量が変化しなかった。心臓手術で胸骨下の前縦隔に留置した場合、溝型のシリコンドレenchでは組織に埋没していても吸引部分の面積が広く、さらに毛細管現象も期

Table 2 Relationship between drain tubes and viscosity

Viscosity cP	Sponge	Flow rate mL/min	
		Silicone drain	Thoracic catheter
1.0	-	245	1,793
3.8	-	194	1,729
3.8	+	194	1,542

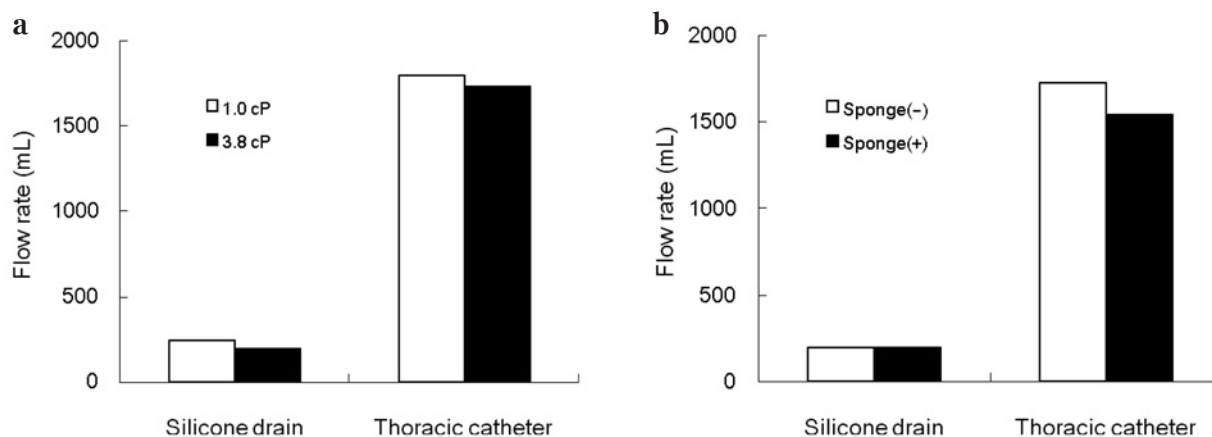


Fig. 5 **a**: Drainage capacity of the two different drain tubes for different viscosity. Note that the flow rate was reduced by 24% in the silicone drain and 4% in the conventional chest tube for different viscosity.
b: Drainage capacity of the two different drain tubes with and without sponge. Note that the flow rate was reduced by 11% in the silicone drain but unchanged in the conventional chest tube when both drain tubes were embedded in the sponge.

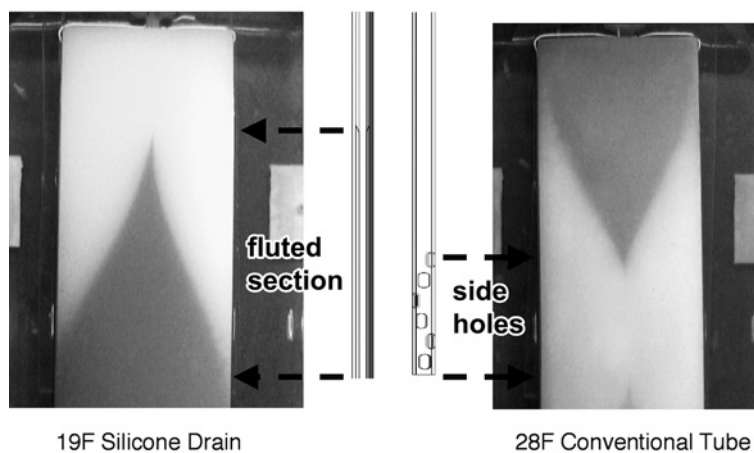


Fig. 6 Comparison of flow visualization test results using two different drain tubes. Note that the most effective portions were the most proximal slits of the silicone drain and the side holes of the conventional chest tube.

待される可能性があるので吸引効果が低下する可能性が低いと考えられた。一方、側孔型のシリコンカテーテルでは側孔が組織に埋没することにより有効な吸引部分の面積が減少し、吸引効果も低下する可能性が考えられた。

可視化試験よりシリコンドレーンは溝の始まる部分

が最もドレナージ効果が高いことが判明した。この部分をドレナージを必要とする部位に完全に収めなければ期待するドレナージ効果を得られない場合があることがこの実験から示唆された。

心嚢内のようにドレーンチューブと組織が密着した閉鎖空間では溝または孔が完全に心嚢腔内に収まって

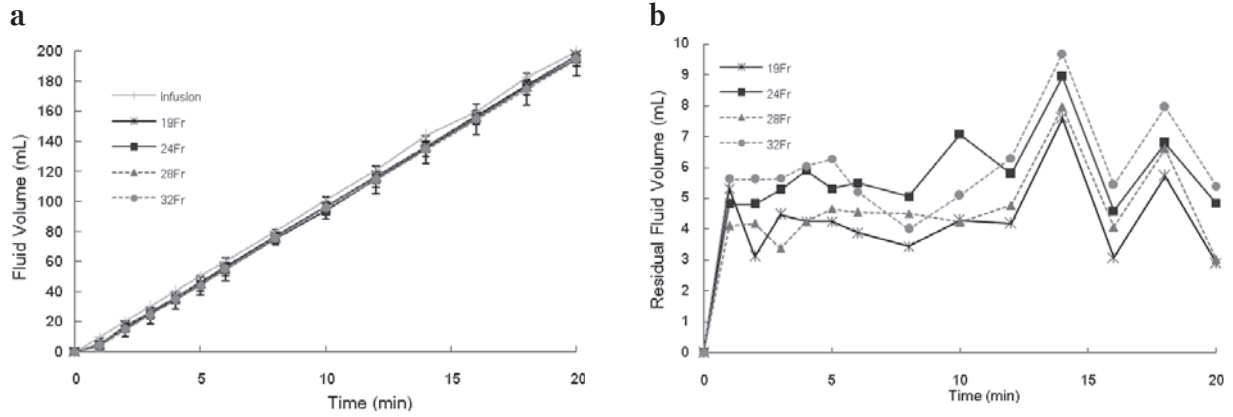


Fig. 7 **a:** Relationship between infusion volume and mean suction volume of in vitro pericardial drainage. **b:** Difference between infusion and suction volume for in vitro pericardial model. Note that there was no difference in the four drainage tubes for mean residual volume.

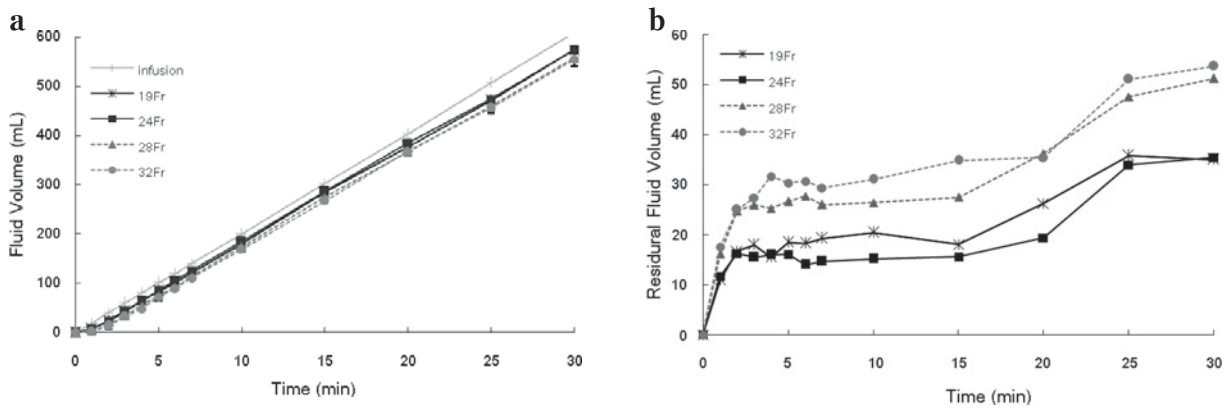


Fig. 8 **a:** Relationship between infusion volume and mean suction volume of in vivo pleural drainage. **b:** Difference between infusion and suction volume for in vivo pleural drainage. Note that residual volume was less in the silicone drain group than in the thoracic catheter group.

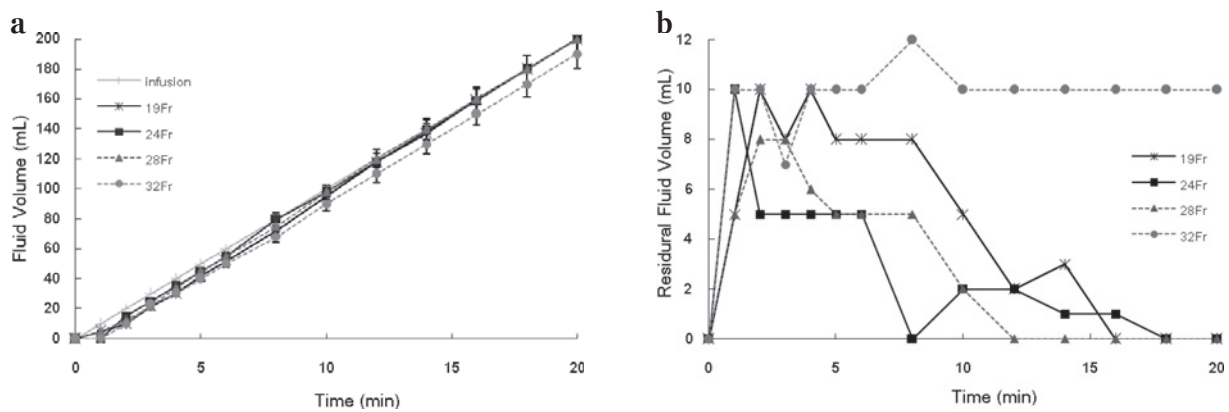


Fig. 9 **a:** Relationship between infusion and suction volume for in vivo pericardial drainage. **b:** Difference between infusion and suction volume for in vivo pleural drainage. Note that there was no difference in the four drainage tubes for mean residual volume.

いないと心嚢外, つまり胸骨下のドレナージ効果の方が強くなる可能性が出てくる。その一方でドレナージチューブの溝または孔が心嚢腔内に収まっていればドレナージチューブの種類や留置の仕方によらず同程度の吸引効果が期待できると考えられた。

動物実験の結果から胸腔内ではソラシックカテーテルはシリコンドレナージと比較して硬い素材であるため, ドレナージチューブを適切な場所に留置しなければ出血の溜まりがドレナージチューブの側孔を塞ぐまでドレナージ効果を発揮しにくい可能性が示唆された。一方シリコンドレナージは組織の形状に逆らうことなく適切な場所に留置可能であり, また毛細管現象により吸引力を發揮するためわずかな出血の溜まりでも吸引可能であると考えられた。臨床では血液が溜まる間に凝血する可能性があるため, わずかな出血でも吸引可能なシリコンドレナージのほうが有利であると考えられる。

心嚢ドレナージモデルにおいては4種類のドレナージチューブで吸引能は同等であった。従来の太くて硬いドレナージチューブにより冠動脈バイパス術後, バイパスグラフトがドレナージチューブに圧迫されたり¹⁰, 側孔に吸引されたり¹¹することによる心筋虚血や, 右室を圧迫することによる心原性ショック¹²などの合併症が報告されているが, 溝型の細くて柔らかいシリコンドレナージはこれらの合併症を回避可能であるため心嚢ドレナージの際にも有利になりうると考えられる。

本研究の問題点は, 動物実験で使用した血液は抗凝固剤 (Citrate Phosphate Dextrose Adenine 液) を混和しているため, 臨床例より凝血しにくいという点である。より臨床に即したモデルを作成するために行った予備試験で抗凝固を行わない血液を使用した出血モデルで実験を行ったところ, 瞬時に凝血しドレナージチューブからほとんど排液できなかつたため, 抗凝固剤を使用しない血液での動物実験は困難であった。しかし抗凝固剤を使用した血液でも粘度は同程度であり, また心臓手術後は人工心肺の使用や低体温手術による血小板数や血小板凝集能の低下, 血液凝固能の低下などのため凝血しにくい性状になっていることを考慮すると今回の実験は臨床に即しているものであると考えられる。

結 論

本研究によりシリコンドレナージの吸引能はソラシックカテーテルと比して臨床的には劣らないということ

を実験的に証明しえた。臨床で実際にドレナージチューブを留置する部位は組織に挟まれ, 心拍や呼吸により形状も変化するため, 組織に対する fitting の良いシリコンドレナージの方が有利である可能性が示唆された。

謝辞: 本研究の機会をお与えくださり, 多大なるご指導, ご鞭撻を賜りました埼玉医科大学国際医療センター心臓血管外科新浪 博教授に心より感謝申し上げます。

文 献

1. Munnell ER, Thomas EK: Current concepts in thoracic drainage systems. *Ann Thorac Surg* 1975; 19: 261-268.
2. Roberts N, Boehm M, Bates M, Braidley PC, Cooper GJ, Spyt TJ: Two-center prospective randomized controlled trial of Blake versus Portex drains after cardiac Surgery. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2006; 132: 1042-1046.
3. Agati S, Mignosa C, Gitto P, Trimarchi ES, Ciccarello G, Salvo D, Trimarchi G: A method for chest drainage after pediatric cardiac surgery: A prospective randomized trial. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2006; 131: 1306-1309.
4. Sakopoulos AG, Hurwitz AS, Suda RW, Goodwin JN: Efficacy of Blake[®] drains for mediastinal and pleural drainage following cardiac operations. *J Card Surg* 2005; 20: 574-577.
5. Ege T, Tatli E, Canbaz S, Cikirikcioglu M, Sunar H, Ozalp B, Duran E: The importance of intrapericardial drain Selection in cardiac surgery. *Chest* 2004; 126: 1559-1562.
6. Frankel TL, Hill PC, Stamou SC, Lowery RC, Pfister AJ, Jain A, Corso PJ: Silastic drains vs conventional chest tubes after coronary artery bypass. *Chest* 2003; 124: 108-113.
7. Akowuah E, Ho EC, George R, Brennan K, Tennant S, Braidley P, Cooper G: Less pain with flexible fluted silicone chest drains than with conventional rigid chest tubes after cardiac surgery. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2002; 124: 1027-1028.
8. Lancey RA, Gaca C, Vander Slam TJ: The use of smaller, more flexible chest drains following open heart surgery: an initial evaluation. *Chest* 2001; 119: 19-24.
9. Obney JA, Barnes MJ, Lisagor PG, Cohen DJ: A method for mediastinal drainage after cardiac procedures using small silastic drains. *Ann Thorac Surg* 2000; 70: 1109-1110.
10. Svedjeholm R, Hakanson E: Postoperative myocardial ischemia caused by chest tube compression of vein graft. *Ann Thorac Surg* 1997; 64: 1806-1808.
11. Chapin JW, Kahre J, Newland M: Acute myocardial ischemia caused by mediastinal chest tube suction. *Anesth Analg* 1980; 59: 386-387.
12. Kollef MH, Dothager DW: Reversible cardiogenic shock due to chest tube compression of the right ventricle. *Chest* 1991; 99: 976-980.

(受付: 2007年9月4日)

(受理: 2008年1月18日)