

심폐바이패스 롤러펌프에 의한 튜브 마모 및 파쇄

김원곤* · 성기익* · 윤철웅** · 신윤철*

서울대병원 흉부외과, 서울대학교 의과대학 흉부외과학교실, 심장연구소, *병리과
한림대학교 강동성심병원 흉부외과
(1999년 7월 5일 접수, 1999년 9월 3일 채택)

Tubing Wear and Spallation Induced by Roller pumps in Cardiopulmonary Bypass

W.G. Kim, M.D.*, K.I. Sung, M.D*., C.J. Yoon, M.S.**., Y.C. Shin, M.D.

Dept. of Thoracic & Cardiovascular Surgery, Dept. of Pathology, Seoul National University Hospital,
Heart Research Institute, Seoul National University College of Medicine, Seoul, Korea
Dept. of Thoracic and Cardiovascular Surgery, Kangdong Sacred Heart Hospital, Hallym University,
Seoul, Korea.

(Received July 5, 1999. Accepted September 3, 1999)

요약 : 심폐바이패스시 발생할 수 있는 튜브 마모 및 파쇄는 롤러펌프의 반복되는 압박에 의해 롤러펌프에 장착된 튜브 내벽에 균열이 생기고 이로 인해 미세한 비생물적 조각들이 혈액중으로 떨어져 나가는 현상을 말하는데, 임상적으로 치명적인 색전증을 초래할 수 있다. 그러나 아직 롤러펌프 튜브로 사용되는 PVC 및 실리콘 튜브중 어느 쪽이 마모 및 파쇄 관점에서 더 우수한지는 체계적으로 밝혀지지 않고 있다. 이에 본 연구는 두 종류의 튜브를 각각 일정 기간 롤러펌프에 장착하여 작동시킨 뒤 튜브내외면을 육안 및 주사형 전자현미경으로 관찰하였다. 즉 PVC 및 실리콘 튜브(내경 1/2 인치의)들을 미리 정해진 폐쇄도 조절에 의해 폐쇄 회로 심폐바이패스 롤러펌프 헤드에 장착시키고 4,500 ml/min에서 각각 4차씩 1, 2, 4, 6 시간 작동시켰다. 파쇄에 의한 색전 관찰 실험에서는 회로 중간에 동맥여과기를 설치하고 각각 6, 9시간 씩 롤러펌프를 작동시켰다. 실험후 튜브 및 여과기들을 수거한후 육안 및 주사형 전자현미경 분석을 시행하였다.

튜브 외부의 육안 관찰 결과 일반적으로 실라스틱 튜브에서의 외부 마모가 PVC 튜브에 비해 현저하였다. 주사형 전자현미경 관찰에서 PVC 튜브에서의 육은 흡수면서 경계선이 뚜렷한 특징을 보였고 3시간 이상 롤러와 접촉한 튜브들에서는 깊은 균열이 간헐적으로 관찰되었다. 반면 실라스틱 튜브들에서는 홈이 상대적으로 넓고 경계가 덜 명확하였으며, 특징적으로 V 자 모양의 움기부들이 간헐적으로 관찰되었다. 실라스틱 및 PVC 튜브 모두에서 50 μ 전후의 Craters 가 간헐적으로 관찰되었다. 여과기의 여과망에 대한 주사형 전자현미경 분석 결과 실라스틱과 PVC 튜브실련군 모두에서 색전 입자로 의심되는 조각들이 발견되었으나 두군간 정량적 비교는 어려웠다. 결론적으로 롤러펌프에 의한 튜브 마모 및 파쇄 현상은 실라스틱 및 PVC 튜브의 재질에 따라 그 양상에는 차이가 있으나 임상적인 측면에서는 어느 쪽도 상대적 인 우수성이 입증되지 못하였다.

중심단어 : 롤러펌프, 튜브 마모, 파쇄, PVC 튜브, 실리콘 튜브

Abstract : Tubing wear and spallation have long been recognized as complications of roller pumps used in cardiopulmonary bypass(CPB), though the reported results of studies of polyvinylchloride(PVC) and silicone rubber tubing are still controversial. We conducted scanning electron microscopic(SEM) studies of roller pump-induced tubing wear and spallation. A closed CPB circuit was constructed and both PVC and silicone rubber tubing (1/2 inch I.D) were tested under slight nonocclusive and tight occlusive condition of a dual roller pump at a typical CPB flow rate(4,500 ml/min) for 1, 2, 4 and 6 hours, in quartet. After each pump run, the tubing was removed. For the experiment of spallation, an arterial filter was inserted in the CPB circuit and the roller pump was run for 6 and 9 hours. All tubes tested were analyzed in detail using SEM. In silicone rubber tubing of longer running time, the external diameter often decreased. Wear was invariably found on luminal surfaces at the junction of the inner and outer wall of both PVC and silicone rubber tubing, with no significant differences between slight nonocclusive and tight occlusive condition. Grooves in the PVC tubing were narrow and continuous, with occasional deep cracks in tubing of more than 3 hours of pump run. Grooves in the silicone rubber tubing were wide and

*이 논문은 1997년 한국학술진흥재단의 학술연구비에 의하여 지원되었음

통신저자: 김원곤 (110 744) 서울시 종로구 연건동 28

서울대학교병원 흉부외과

Tel. (02)760-2346 Fax. (02)764-3664

often interrupted, with occasional V shaped elevated areas. Craters of less than 50 μ occurred sporadically in both types of tubing. Suspicious embolic particles were found on the filters of 40 μ pores, in both groups with PVC and silicone tubing. In conclusion, Neither PVC nor silicone rubber tubing offers advantages in terms of roller pump-induced tubing wear and spallation.

Key words: Roller pump, Tubing wear, Spallation, Polyvinylchloride tubing, Silicone rubber tubing

서 론

심장수술 성적이 오늘날 크게 향상된 데에는 수술 기법 및 심근보호법의 개선과 함께 심폐바이패스 회로와 그 운용법의 발전의 도움이 크다(1). 심폐바이패스 회로 중 동맥펌프(arterial pump)는 심장수술중 심장의 역할을 하는 장치로서, 현재 롤러펌프와 원심성펌프의 두 종류가 널리 사용되고 있는데, 주로 경제적인 장점 때문에 국내외를 막론하고 전자가 더 많이 사용되고 있다. 롤러펌프의 형태로는 원재 180° 떨어진 두개의 롤러로 이루어진 롤러 펌프가 가장 보편적으로 사용되고 있는데(2), 이들 두개의 롤러들은 금속틀내에서 약 200°의 원을 그리며 주위에 장착된 튜브를 압박하면서 회전하게 된다. 즉 롤러중의 하나가 튜브를 압박하기 시작할 때 반대쪽 롤러가 풀리기 시작하면서 튜브내의 혈액이 한 방향으로 계속 움직이게 되는 것이다. 이러한 롤러펌프는 그 작동 방식이 비교적 간단하고 기계적 안전성이 있으며 일회용으로 사용되는 튜브의 가격이 저렴한 장점이 있으나, 공기펌핑의 가능성, 회로내 과도한 압력 형성 가능성, 직혈구 손상 가능성, 그리고 장착된 튜브에서의 마모 및 파쇄 가능성 등이 단점으로 지적되어 오고 있다. 이 중 튜브 마모(tubing wear) 및 파쇄(spallation) 현상은 심폐바이패스시 롤러펌프의 반복되는 압박에 의해 롤러펌프에 장착된 튜브 내벽에 마모 및 균열이 생기게 되고 이로 인해 미세한 비생물적 조각들이 혈액중으로 떨어져 나가는 일련의 현상을 일컫는 것으로(3,4,5,6), 이로 인한 색전증은 상기에 따라 임상적으로 여러 문제점을 낳을 수있다. 이러한 파쇄 및 색전 현상은 심폐바이패스에서 뿐만 아니라 같은 롤러펌프를 사용하는 혈액투석(hemodialysis)시에도 동일한 문제점을 제공하고 있다(7,8).

현재 롤러펌프 튜브 재질로 가장 많이 사용되고 있는 것은 Polyvinylchloride(PVC) 제품과 실라스틱(Silicone rubber) 제품이다. PVC 제품들은 심폐바이패스용 튜브로서 대체로 좋은 조건들을 가지고 있으나 탄성도가 떨어지는 단점이 있고, 실라스틱 즉 실리콘 고무로 만든 제품들은 탄성도의 측면에서는 장점이 있으나 기계적 마모에 약하다는 것이 일반적으로 지적되고 있다(3,9). 그러나 튜브 마모 및 파쇄의 관점에서 두 튜브간을 비교한 것으로 세계 문헌에 보고된 관련 연구는 대부분 단편적인 관찰에 기초를 두거나 또는 색전증 자체에 의한 병리 현상을 분석한 것이고 아직까지 두 종류의 튜브를 체계적으로 비교한 분석 결과를 도출해내지는 못하고 있다. 이에 본 연구는 PVC와 실라스틱 두 종류의 튜브를 동일 조건에서 각각 일정 기간 롤러펌프에 장착하여 작동시킨 뒤 튜브 내면을 주사형 전자현미경으로 관찰하여 튜브 마모 및 파쇄 양상을 비교 분석하

는 동시에, 파쇄로 인해 튜브로부터 분리가 예상되는 미세 색전입자들을 심폐바이패스 회로에 장착된 동맥여과기에서 걸러낸 뒤 이를 전자현미경으로 분석하였다.

연구대상 및 방법

실험 튜브

실험에 사용된 PVC 튜브 및 실라스틱 튜브(Baxter Healthcare Corporation, Irvine, CA, USA)의 크기는 현재 임상에서 성인 심폐바이패스용으로 사용되고 있는 크기인 1/2 인치 튜브를 선택하였다. 실험용 튜브들은 제조 공정의 차이에 의한 오차를 없애기 위해 동일 실험군에서는 같은 BATCH에서 온 것을 사용하였다.

롤러펌프 작동

실험 대상 튜브들을 미리 정해진 폐쇄도 조절에 의해 심폐기 롤러펌프 헤드(Stockert Shiley, Shiley Inc., Irvine, CA, USA)에 장착시켰다. 즉 롤러펌프의 폐쇄도 차이가 튜브 마모 및 파쇄에 미치는 영향을 파악하기 위하여 일반적으로 동맥펌프용 롤러펌프에 사용되는 정도의 비폐쇄성(slightly non-occlusive) 조절과 완전 폐쇄 조절간을 비교 분석하였다. 이때 롤러펌프의 폐쇄성을 정도의 비폐쇄성으로 조절하는 방법으로는 이른바 '30 1 법칙'을 이용한 물기둥 하강법으로, 충전액이 채워진 튜브를 펌프 수준 보다 30cm 높게 올린 다음 이 물기둥이 1분에 1cm 정도 하강할 정도의 폐쇄성으로 롤러펌프내의 튜브를 폐쇄시켜 주었다. 실험장치는 한 번 실험에 모두 4개의 펌프헤드를 이용한 수있도록 구성하였다. 펌프헤드에 장착된 튜브 양단은 밀간 중류수가 담긴 통에 침잠시켜 이를 순환시킴으로서 전체적으로 폐쇄회로를 형성하게끔 하였다. 파쇄에 의한 색전 현상을 관찰하는 실험을 위해서는 폐쇄회로 중간에 40 μ 이상 크기의 입자를 거릴 수있는 동맥여과기(Pall Unipolar arterial filter, Pall Biomedical Products Corp, East Hills, NY, USA)를 설치하였다(Fig 1). 충전액으로는 밀간 중류수를 사용하였고, 실험신 분신이나 기타 이물질등이 색전입자화 되는 것을 예방하기 위해 신 회로를 3-5 차례 철저히 세척하였다. 튜브 마모 실험을 위한 롤러펌프의 작동 시간은 일반적인 심장수술 시간 및 장기 수술시간 등을 고려하여 1시간, 2시간, 3시간, 6시간 군으로 나누어 실험하였다. 펌프 작동시 롤러펌프의 RPM은 모두 100(4.5 LPM)으로 맞추었다. 따라서 1시간, 2시간, 3시간, 6시간 실험군의 ROLLER STROKE는 각각 12,000, 24,000, 36,000, 72,000 번이었다. 파쇄에 관한 실험에서는 색전 형성의 가능성을 보다 높이기 위해 펌프 작동 시간을 6시간 및



Fig. 1. Experimental closed circuit for spallation study

9시간으로 하였다. 이를 ROLLER STROKE로 환산하면 각각 72,000회과 144,000번이었다.

실험군

위에서 설명한 대로 튜브제질, 폐쇄도, 그리고 작동시간에 따라 다음과 같이 16개 실험군으로 나누었고(table 1) 각각의 실험군에서 관찰 오차를 줄이기 위해 모두 4차례씩 실험을 반복 시행하였다. 그리고 대조군으로서 롤러펌프에 장착되어 작동되지 않은 PVC 및 실라스틱 튜브 각각 1개씩을 분석 대상에 포함시켰다. 동맥이과기를 사용한 실험 역시 4차례씩 반복하였다.

전자현미경 및 위상차현미경 관찰

실험이 끝난 튜브들을 수거한뒤 먼저 튜브 외부의 마모 정도를 관찰한 뒤 미세측정자(comparameter, Mitutoyo, Japan)로 볼러가 닿는 부위를 기준으로 수평면의 길이와 수직면의 길이를 측정하였다. 그런 후 튜브 내부에서 일정 부위(볼러펌프와 접촉하는 부위, 그 180도 반대 방향에 있는 부위, 그리고 튜브 끼리 겹쳐지는 옆 부위)와 -기를 정한뒤 항상 동일 장소에서 같은 크기의 샘플을 채취하였다. 채취된 샘플은 일련의 처리 과정을 거친뒤 주사형 전자현미경(Scanning electron microscopy, Hitachi, S-520, Japan)으로 내면을 관찰하여 파쇄의 정도를 관찰 비교 분석하였다. 즉 샘플을 알루미늄 재료대(Al stubb)위에 탄소 양면테이프를 고정 시킨후 은접착제(conductive silver plate)로 고정된 표본의 가장자리에 부착함으로써 전자 방전효과를 극대화하였다. 재료는 이온파막기(Ion sputtering coater, Eiko 3B)가 0.1 Torr 진공상태에 도달하였을 때 3500볼트의 고정된 신압에서 10mA의 전류를 유지하면서 10분간 Au Pt 합금재질로 약 15nm 두께로 피막을 입힌후 이를 주사형 전자현미경으로 관찰하였다. 그리고 흑백 물 펠름으로(Kodak, VP 120) 인화된 사진에서 균열, 용기, 미세 파편 등의 이상 소견이 관찰되면 이들을 캘리퍼(Mitutoyo, vernier caliper)와 미세측정자(Mitutoyo, comparameter)로 정밀 분석 측정

Table 1. 실험군

PVC	완전 폐쇄	1시간 펌프작동
		2시간 펌프작동
		3시간 펌프작동
		6시간 펌프작동
	적정 폐쇄	1시간 펌프작동
		2시간 펌프작동
		3시간 펌프작동
		6시간 펌프작동
SILASTIC	완전 폐쇄	1시간 펌프작동
		2시간 펌프작동
		3시간 펌프작동
		6시간 펌프작동
	적정 폐쇄	1시간 펌프작동
		2시간 펌프작동
		3시간 펌프작동
		6시간 펌프작동

하였다. 이과기의 경우는 이과기 case를 조심스럽게 절단한후 이과망을 수거한후 이중 5부위를 무작위로 선정하여 관찰하였다.

연구 결과

1. 튜브 마모 및 파쇄 실험

100 RPM에서 각각 1,2,3,6 시간 펌프 작동후에 수거된 튜브들의 외부를 육안 관찰한 결과 일반적으로 실라스틱 튜브에서의 외부 마모가 PVC 튜브에 비해 현저하였다(Fig. 2). 롤러펌프가 튜브에 닿는 면을 기준으로 튜브의 수평면과 수직면을 각각 미세측정자로 측정 한 결과는 동일 조건에서는 PVC 튜브들이 실라스틱 튜브에 비해 수평면이 수직면 보다 상대적으로 더 짧아지는 현상을 보였다. 주사형 전자현미경 관찰에서 실라스틱 및 PVC 튜브 대조군들의 표면에서 뚜렷한 차이를 보였다. PVC 튜브의 표면은 매우 매끄러운 모습을 보인 반면에 실라스틱 튜브 표면은 미세한 주름들이 관찰되었다(Fig. 3,4). 반면 볼러와 접촉시킨 실라스틱 및 PVC 실험 튜브 전례에서 볼러가 직접 튜브와 접촉하게 되는 안쪽면과 그 반대쪽 바깥면과의 경계 부위 내면에서 여러 정도의 튜브 마모가 관찰되었다. 튜브 마모의 양상은 튜브의 장축을 따라서 생기는 홈(grooves)이 주를 이루었는데, PVC 튜브들에서의 홈은 실라스틱 튜브에 미하여 상대적으로 좁으면서 경계선이 뚜렷한 특징을 보였고 3시간 이상 볼러와 접촉한 튜브들에서는 깊은 균열(crack)이 간헐적으로 관찰되었다(Fig. 5,6). 반면 실라스틱 튜브들에서의 홈은 PVC 튜브에 비해 넓고 경계가 상대적으로 덜 명확하였으며,

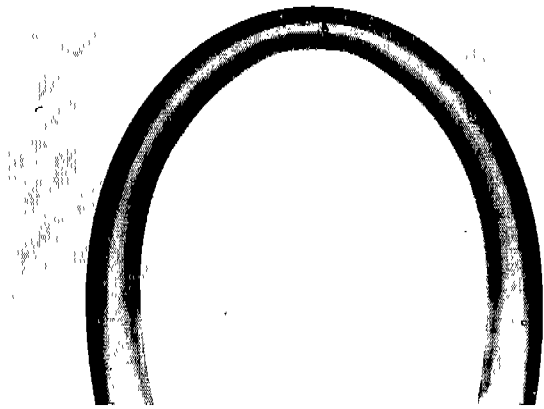


Fig. 2-A. External appearance of silastic tubes after roller contact of three hour

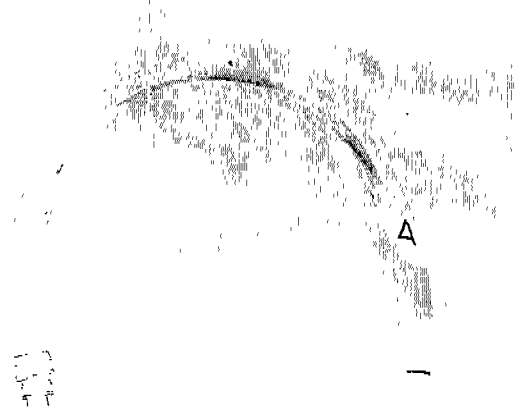


Fig. 2-B. External appearance of PVC tubes after roller contact of three hour

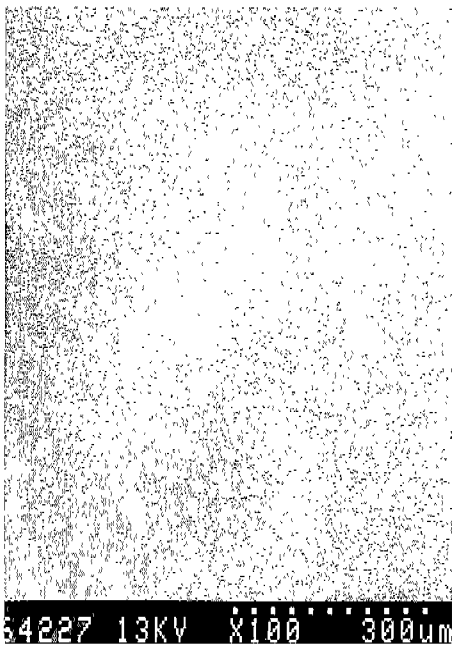


Fig. 3. Scanning electron microscopic finding of the surface of PVC tube without roller contact

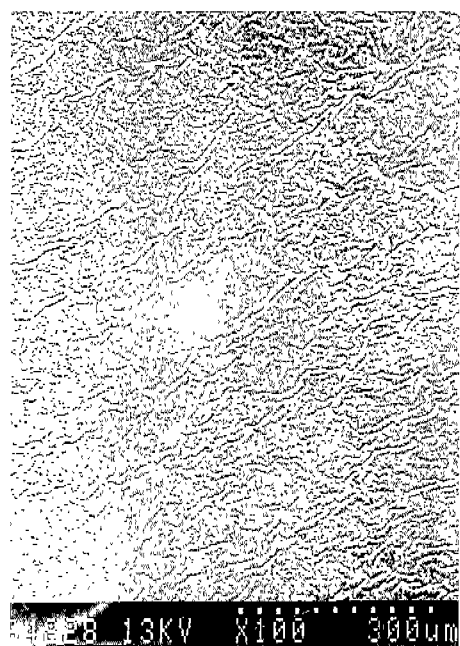


Fig. 4. Scanning electron microscopic finding of the surface of Silastic tube without roller contact

흡에서는 특징적으로 V자 모양의 융기부들이 간헐적으로 관찰되었다(Fig. 7,8). 그리고 실라스틱 및 PVC 튜브 모두에서 50 μ 인 후의 Craters가 간헐적으로 관찰되었으나 상대적으로 실리콘 튜브에서 더 많은 숫자가 관찰되었다(Fig. 9,10). 롤러펌프의 폐쇄성 조절에 따른 실험에서는 적정 폐쇄성 조절에 의해 작동된 펌프에 장착된 튜브들과 완전 폐쇄성 조절에 의해 작동된 펌프에 장착된 튜브들 간에 튜브 마모에서는 유의한 차이는 관찰되지 않았다.

2. 파쇄 색전 실험

민저 튜브 파쇄에 의해 여과기에 여과된 색전 입자가 튜브 파쇄에 의한 것인지 아니면 이물질 오염에 의한 것인지 감별

하기 위해 사용하지 않은 실라스틱 및 PVC 튜브 대조군 표면은 미세한 칼날로 손상을 주어 색전에 관한 대조 사진을 마련하였다. 이과기의 여과망에 대한 주사형 전자현미경 분석 결과 실라스틱과 PVC 튜브간의 정량적 비교는 어려웠으며 두 종류의 튜브 모두에서 색전으로 의심되는 입자들이 다수 관찰되었다(Fig. 11,12).

고 안

심폐바이패스시 색전증을 일으킬 수 있는 요인으로는 생물학적 응집물(biologic aggregates), 가스기포, 비생물학적 조각(nonbiologic debris)들이 있다. 이중 생물학적 응집물이나 가스

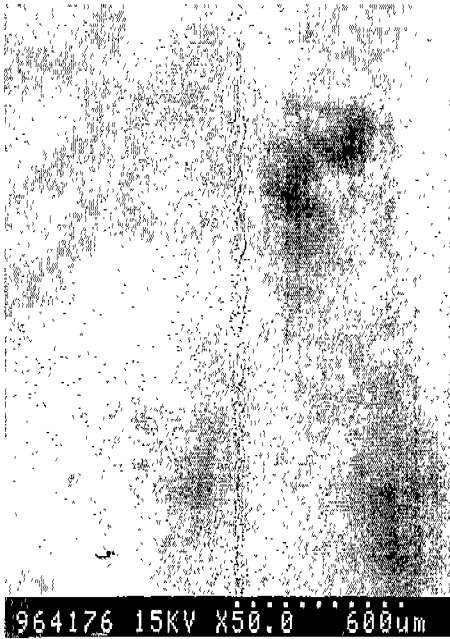


Fig. 5. Scanning electron microscopic finding of a PVC tube after roller contact of two hours ($\times 50$)



Fig. 6. Scanning electron microscopic finding of a PVC tube after roller contact of six hours ($\times 300$)

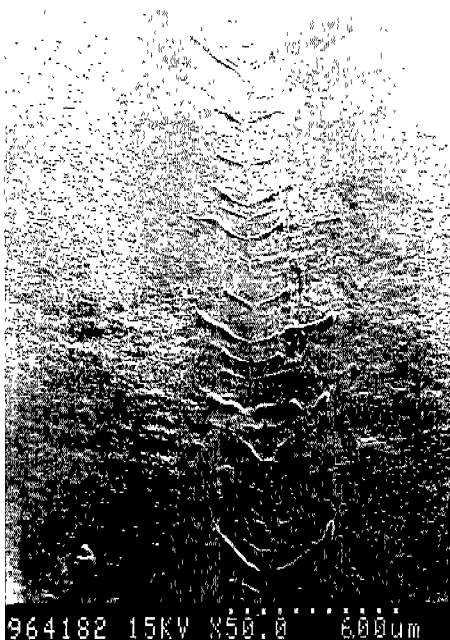


Fig. 7. Scanning electron microscopic finding of a Silastic tube after roller contact of two hours ($\times 50$)



Fig. 8. Scanning electron microscopic finding of a Silastic tube after roller contact of six hours ($\times 50$)

기포는 그 양이 많지 않은 경우에는 대개 체내에서 내망세포세의 식작용이나 분해 또는 혈중에 녹아 들어감으로서 사라질 수 있지만, 비생물학적 조각들은 계속 남아 있으면서 이물질 반응 또는 거대세포에 의한 임종물질의 분리로 말열을 일으키거나 각종 상기의 허혈 증상을 일으키게 된다(7,10). 롤러펌프에 의한 심폐바이패스 튜브의 마모 및 파쇄 현상은 이러한 비생물학

적 조각의 가장 중요한 원인이 될 수 있다(1). 롤러펌프는 원심성 펌프와 같은 로타리 펌프와는 달리 작동 기전상 많은 횡수를 반복하여 튜브를 압박하는 과정을 되풀이하게 된다. 예를 들어 임상적으로 롤러펌프를 사용하여 심폐바이패스를 운용할 때 펌프시간이 120분이고 평균 회전수가 165RPM이라면 펌프 시간중 전체 롤러회전수는 19,800번이 된다. 그리고 한 번 회전



Fig. 9. Scanning electron microscopic finding of a PVC tube after roller contact of two hours



Fig. 10. Scanning electron microscopic finding of a silastic tube after roller contact of three hour ($\times 600$)

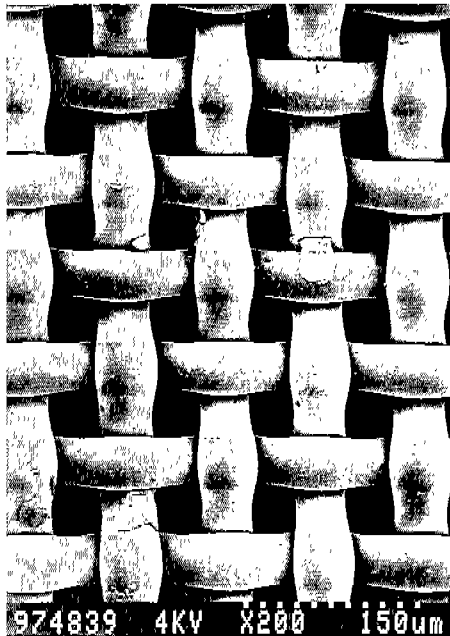


Fig. 11. Scanning electron microscopic finding of an arterial filter mesh after roller contact of nine hours (PVC tube)

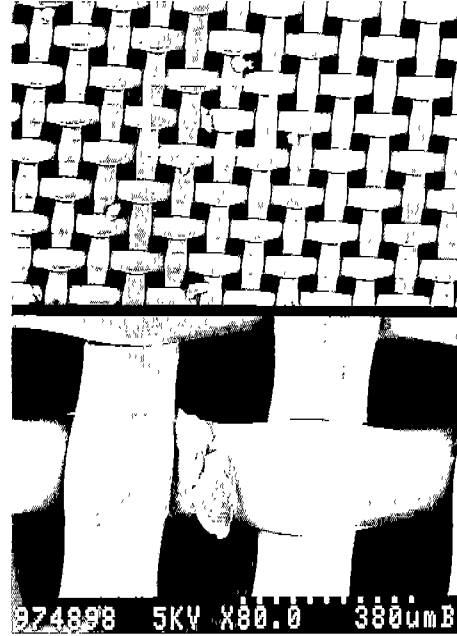


Fig. 12. Scanning electron microscopic finding of an arterial filter mesh after roller contact of six hours (silastic tube)

에 두 개의 롤러가 튜브를 압박하게 되니까 결국 튜브에 대한 롤러의 전체 압박 횟수(roller stroke)는 39,600번이 된다. 따라서 장기간 심폐바이패스 운용을 필요로 하는 상황은 물론이고 통상의 심폐바이패스 운용 시간에서도 튜브에 가해지는 물리의 기계식 스트레스가 클 것이라는 것을 쉽게 짐작할 수 있다.

플리펀프에 의한 튜브 변화중 외부 마모는 파쇄와는 직접적

인 관련이 있는 것은 아니지만 튜브 재질의 성질을 이해하고 내부 마모 및 파쇄 원상을 유추해 볼 수 있다는 측면에서 의미가 있다. 본 실험에서는 실라스틱 튜브에서의 외부 마모가 PVC 튜브 보다 현저한 것으로 나타났다. 또 펌프 작동 시간에 비례하여 실리콘 튜브의 수평면이 수직면에 비해 점점 좁아져 튜브 단면이 원형에서 타원형으로 변화하는 것을 관찰할 수 있

었는데 이는 실리콘 튜브의 low durometer와 일치하는 소견이었으나(9), 이러한 실리콘 튜브의 특성이 파쇄의 가능성을 높히는 것으로는 생각되지 않았다.

내구 마모는 실리콘과 PVC 튜브 공히 튜브의 안쪽 면과 바깥면 사이의 경계 부위에서 주로 관찰되었는데, 이는 이 부위가 가장 험저히 압박 받으면서 굴곡되는 부위이기도 하지만 롤러펌프 헤드에 의해 움직이려고 하는 튜브의 안쪽면과 가만히 있으려고 하는 바깥면 사이에서 발생하는 힘의 차이에 의한 이른바 'fractional drag force' 도 큰 작용을 하는 것으로 판단된다(5). 튜브의 마모 양상은 튜브 종류에 따라 특징적인 변화를 보였는데 PVC 튜브에서는 좁고 경계선이 뚜렷한 홈이 관찰되었으며 3시간 이상 펌프 작동을 한 튜브에서는 간혹 deep cracks 이 발견되었다. 이는 PVC 튜브의 유연성 결여로 fracture 현상이 잘 일어날 수 있다는 기존의 연구 보고와 일치되는 소견이었다(11). 반면 실리콘 튜브에서는 비교적 넓은 마모 부위에 V자 모양의 융기들이 롤러가 돌아가는 방향으로 생긴 것이 관찰되었는데 이는 실라스틱 튜브가 PVC 튜브 보다 유연도가 높아서 롤러의 힘에 의해 안쪽면이 잘 끌려가지만 탄성도가 높아서 원래의 형태로 돌아오려는 성질이 크기 때문에 생긴 것이라고 생각되어진다. 파쇄에 대한 보다 직접적인 현상으로 두 종류의 튜브 내면에서 모두 50 μ 전후의 craters가 발견되었는데 이는 실리콘 튜브에서 보나 많은 빈도로 관찰되었다. 그러나 롤러펌프와 접촉하지 않았던 실리콘 튜브 대조군에서도 비슷한 craters가 간혹 발견되는 것을 보아, 이러한 craters들이 실리콘 튜브의 제조과정상의 분쇄와도 연관될 수 있기 때문에 관찰된 모든 craters들을 파쇄 현상과 연관짓기는 어려웠다. 반면 PVC 튜브의 경우 대조군에서는 craters 들이 발견되지 않았다. 한편 롤러펌프의 폐쇄도는 롤러펌프에 튜브를 작동시킬때 롤러가 튜브를 어느 정도 폐쇄시키면서 작동시키는 것이 좋은지 그 정도를 말한다. 동맥펌프용 롤러펌프는 일반적으로 튜브가 약간 비폐쇄성으로 조이게끔 조절해 준다. 만일 롤러펌프를 완전히 조여서 튜브를 워신 폐쇄시키면서 작동하게 되면 적혈구에 대한 손상으로 과도한 용혈이 초래될 수있다. 또 이와 반대로 만일 튜브가 너무 느슨하게 조여지면 펌프 작동시 느슨히 조여진 튜브를 통해 혈액역류가 생길 수있어 미리 계산된 펌프 유량보다 실제로는 적은 양의 관류가 이루어질 가능성이 커지게 된다. 본 실험에서 롤러펌프의 폐쇄도를 변화시키면서 튜브마모 및 파쇄 현상의 차이를 관찰하였는데 정량, 정성적인 차이를 관찰하지 못하였다. 이는 실제 임상에서 롤러펌프가 허용할 수 있는 범위에서의 폐쇄도 변화는 튜브 마모 및 파쇄에 영향을 줄 수 없는 것으로 판단된다. 파쇄에 의한 색전 현상을 구체적으로 관찰하기위해 심폐바이패스 회로에 동맥이과기를 설치하여 실험후 이를 분해하여 걸러진 입자들을 주사형 현미경으로 관찰하였다. 걸러진 색전 입자들이 튜브에서 유래되었는지를 파악하기 위해 실험전 사용하지 않은 튜브들을 대상으로 인위적인 균열을 가해 색전과 같은 입자를 만든 뒤 이를 주사 현미경으로 촬영하여 비교 사진을 만들었다. 실험 결과 실리콘 튜브와 PVC 튜브에서 붉다 색전 물질로 의심되는 물질들이 발견되

었으나 두 튜브간 정량적인 차이는 관찰하기 어려웠다. 특히 실험에 사용되었던 여과기가 실제 임상에서 사용되는 여과기로 pore의 크기가 40Micron 정도인데, 파쇄에 의한 색전의 경우 그 크기가 5-300micron 정도로 다양할 수있기 때문에(12), 모든 색전 입자를 다 걸렀다고 보기 어려운 난점이 있었다. 실제 여과기에 걸러지지 않은 정도의 입자들은 임상적으로 특별한 문제를 일으키지 않는 것으로 생각되고 있다. 그러나 이러한 정량적인 단점에도 불구하고 두 종류 튜브 모두에서 비슷한 양상의 색전 입자들이 발견되었다는 것은 의미가 있었다. 결론적으로 심폐바이패스시 롤러펌프에 의한 튜브 마모 및 파쇄 현상은 실리콘 튜브와 PVC 튜브간 그 양상에는 다소간 차이는 있지만 어느 한쪽으로 임상적으로 유리한 것으로 주장할 만한 실험 결과는 관찰할 수없었다.

참 고 문 헌

- Galletti PM, Mora CT. "Cardiopulmonary bypass: the historical foundation, the future promise. In: Mora CT, Guyton RA, Finlayson DC, Rigatti RL, eds *Cardiopulmonary bypass*". New York: Springer-Verlag, pp 3-18, 1995
- Trocchio CR, Sketel JO. "Mechanical pumps for extracorporeal circulation. In: Mora CT, Guyton RA, Finlayson DC, Rigatti RL, eds *Cardiopulmonary bypass*". New York: Springer-Verlag, pp 220-228, 1995
- Bretz G, Schermeyer T, Donnelly T. "Long term tubing fatigue characteristics". J Extracorp Tech, Vol. 11, No 4, pp 151-156, 1979
- Briceno JC, Runge TM. "Tubing spallation in extracorporeal circuits. An in vitro study using an electronic particle counter". Int J Artif Organs Vol. 15, No. 4, pp 222-228, 1992
- Kurusz M, Christman E, Williams E, et al. "Roller-pump induced tubing wear: another argument in favor of arterial line filtration". J Extracorp Tech Vol. 12, No. 2, pp 49-59, 1980
- Orenstein JM, Sato N, Aaron B, Buchholz B, Bloom S. Microemboli observed in deaths following cardiopulmonary bypass. Human Pathol Vol 13, No.8, pp 1082-1090, 1982
- Hoenich NA, Thompson J, Varini E, et al. "Particle spallation Platicizer(DEHP) release from extracorporeal circuit tubing materials". Int J Artif organs Vol. 13, No. 1 pp 55-62, 1990
- Leong AS-Y, Disney APS, Gove DW. "Spallation and migration of silicone from blood-pump tubing in patients on hemodialysis". N Eng J Med Vol. 306, No. 1, pp 135-140, 1982

9. Hessel EA. "Cardiopulmonary bypass circuitry and cannulation techniques. In: Gravlee GP, Davis RF, Utley JR, eds *Cardiopulmonary Bypass-Principles and Practice*". Baltimore: Williams & Wilkins, pp 55-92, 1993
10. Blauth CI. "Macroemboli and microemboli during cardiopulmonary bypass". *Ann Thorac Surg* Vol, 59, No. 10, pp 1300-1303, 1995
11. Uretzky G, Landsburg G, Cohn D, Wax Y, Borman JB. "Analysis of microembolic particles originating in extracorporeal circuits". *Perfusion* Vol. 2, No. 1, pp 9-17, 1987
12. Morci AP, Leverett B, Hall CW, Akers WW, DeBakey ME. "Plastic microemboli formed in roller and finger pumps". *Am Soc Mech Eng*(paper no. 67-WA/BHF 5), 1968