

말초신경 봉합술 후 기능회복을 위한 Silicone Cuff Wrapping 의 실험적 연구

고려대학교 의과대학 정형외과학교실 · 고려대학교 의과대학 재활의학교실*

임홍철 · 문우남 · 전제영 · 장재석 · 이석현 · 성인영*

— Abstract —

An Experimental Study of Silastic Cuff Wrapping Around the Severed Peripheral Nerve

Hong Chul Lim, M.D., Woo Nam Moon, M.D., Jae Young Cheon, M.D., Jay Suck Chang, M.D.,
Seok-Hyun Lee, M.D. and In Young Sung, M.D.*

Department of Orthopedic Surgery, and Department of Rehabilitation* Guro Hospital, the Korea
University College of Medicine, Seoul, Korea

The authors conducted an in-Vivo experimental study using sciatic nerve of 200-300 grammed rats to verify clinical applicability of Silicone cuffing method, by which scar adhesion of repaired nerve in crushed limb is assumed hopefully to be reduced. The following observations were obtainable.

1. Nerve conduction velocity was noted faster in Silicone cuff group than in control group significantly after 6 weeks postoperatively.
2. Adhesion of repaired nerve with surrounding scar tissue was far less present in Silicone cuff group than in control group when observed grossly.
3. The amount of scar formation and axonal degeneration were noted reduced remarkably in Silicone cuff group than in control group after 3 weeks postoperatively.
4. The intraneural vascularity was noted reduced either in Silicone cuff group and in control group, but definitely less reduced in the former than in the latter.

Clinical relevance: Above results may be taken as an experimental basis supporting clinical applicability of Silicone cuff wrapping method for neurorrhaphy in crushed limb.

Key Words: Neurorrhaphy, Silicone cuff

서 론

산업재해 및 교통사고의 증가로 말미암아 말초신경의 손상이 점차 증가하고 있으며, 특히 주변의 연부조직 손상을 동반한 말초신경의 손상은 봉합부위의 유착때문에 술후 결과가 좋지 않다.

유착된 신경에 대하여 2차적인 신경박리술이 지침이 되지만¹⁾ 신경박리술후 재유착이 발생하여 잠정적인 신경기능의 회복만을 가져오거나, 또는 영구적 혈행차단을 초래하여 기능의 회복을 기대할수

없다¹²⁾.

연부조직 손상을 동반한 신경손상의 치료후, 신경봉합부위 주위를 Tantalum⁴⁾, Milipore membrane⁵⁾, silicone tube^{6, 13, 14)} 등으로 둘러싸는 방법이 시도되어 왔으나 여러가지 문제점을 갖고 있다.

이에 저자들은 연부조직 손상을 동반한 신경손상 환자에 semirigid silastic tube를 사용하여 cuffing에 의한 신경유착 방지를 시도해 보고자 그 전단계인 동물실험을 시행하여 이에 보고하는 바이다.

실험재료 및 방법

1. 실험재료

*본 논문의 요지는 1986년도 대한정형외과 추계 학술대회에서 구연되었음.

Fig. 1. Experimental procedure: **A)** Exposure of sciatic nerve. **B)** Microsurgical cutting of sciatic nerve. **C)** Neurorrhaphy of sciatic nerve under microscopy. **D)** Silicone cuffing after neurorrhaphy.

Table 1. Observation scheme

Sacrifice schedule	No. of animals	Observed	Lost
1 wk	10	7	3
3 wk	10	7	3
6 wk	10	8	2
9 wk	10	8	2
Total	40	30	10

체중 200~300gm의 백서 30마리의 양측좌골신경을 이용하여 우측은 대조군으로 좌측은 실험군으로 하였다. 실험군에서는 길이 12mm, 직경 2.0mm, 두께 0.5mm의 semirigid silastic tube(Dow Corning International Co. Medial Products Div., Midland, Michigan)를 사용하였다.

2. 실험방법

Ether 및 10% Chloral hydrate를 체중 1 kg 당 0.3gm씩 복강내로 주입하여 전신마취를 한 후, 실험용 수술대위에 사지를 고정하였다. 측와위에서 대퇴부와 둔부의 털을 제거한 후 Betadine으로 소독

Fig. 2. Measurement of N.C.V. and amplitude of sciatic nerve by EMG.

하고, 슬관절과 고관절을 연결하는 선을 따라 대퇴부의 후외방에 비스듬히 피부절개를 하였다. 대퇴이두근, 대내전근 및 반막양근 사이의 좌골신경을 노출시킨 다음에 미세현미경하에 좌골신경을 절단하고, 미세수술기법으로 10-0 nylon을 사용하여 절단된 신경의 봉합을 시행하였다.

신경봉합 주위의 근육조직에 tooth forcep을 사용하여 손상을 준 후, 좌측은 신경주변을 길이 12mm, 직경 2.0mm, 두께 0.5mm의 cuff로 둘러싸고, 우측

의 신경은 cuffing을 시행하지 않았다(Fig. 1).

3. 관찰방법

전신마취하에 근전도 검사를 시행한 후 육안적 소견을 관찰하였으며, sacrifice 시켜서 좌골신경을 주위조직과 함께 봉합부위를 중심으로 15mm 길이로 조심스럽게 박리하여 표본을 얻은 후 병리조직학적 검사를 시행하였다.

Sacrifice계획은 수술후 1주, 3주, 6주, 9주에 각각 10마리씩 총 40마리를 관찰하려 했으나 실험도중 10마리의 손실로 총 30마리를 관찰하였다(Table 1).

신경전도 속도 및 Amplitude의 측정은 전신마취하에 고관절 부위의 좌골신경에 전기자극을 가했으며 발목관절부에서 근위부측 1.7cm위치의 비복근에

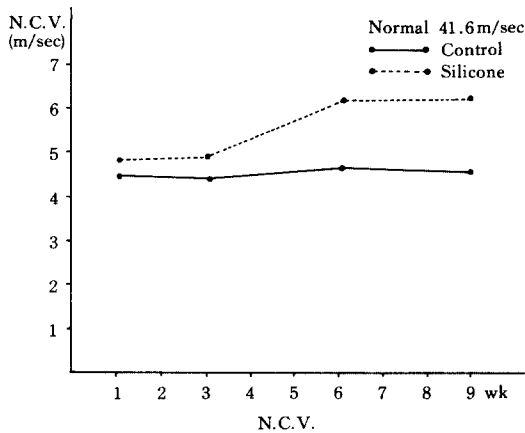


Fig. 3. N.C.V.: There is noted faster N.C.V. in silicone cuff group after POD 6 weeks.

Table 2. Conduction velocity of sciatic nerve (mean. m/sec).

Group	wks				
	Normal	1wk	3wk	6wk	9wk
Control	41.6	4.50	4.45	4.61	4.52
Silicone	41.6	4.83	4.98	6.20	6.25

전도자를 부착시켜 근전도 검사를 하여 측정하였다. 신경전도 검사후, 신경전도속도의 측정은 다음의 공식에 의해 계산하였다(Fig. 2).

$$\text{전도속도 (m/sec)} = \frac{\text{원위부와 근위부간의 거리}}{\text{잠시(Latency)의 차이}}$$

육안적 소견으로 신경과 주위조직과의 유착 및 신경종 형성을 관찰하였으며 병리조직학적 소견상 종박절편에서는 신경축삭 변성정도, 신경초내의 섬유화 및 신경내 혈관분포 상태를 관찰하였으며 횡박

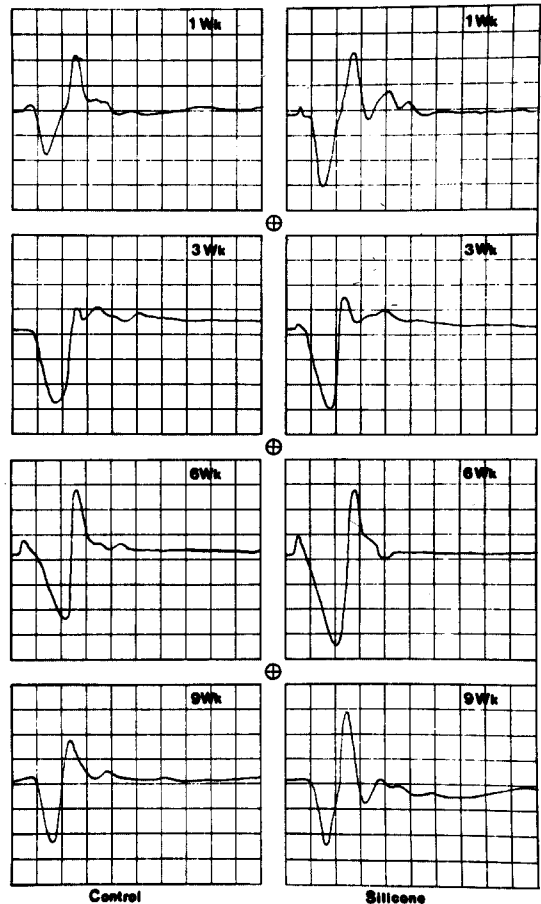


Fig. 4. EMG of sciatic nerve: There is noted higher amplitude in silicone cuff group.

Table 3. Result summary

Finding POD wks	Adhesion			Neuroma formation			Axonal degen'n			Fibrosis			Vascularity			Axonal confusion			NCV(m/sec)		
	N	C	SI*	N	C	SI	N	C	SI	N	C	SI	N	C	SI	N	C	SI	N	C	SI
1	-	±	±	-	-	-	-	-	-	-	±	±	4+	2+	2+	-	+	+	41.6	4.50	4.83
3	-	2+	+	-	-	-	-	±	±	-	+	±	4+	+	2+	-	2+	+	41.6	4.45	4.98
6	-	3+	+	-	-	-	-	+	±	-	2+	+	4+	+	2+	-	3+	+	41.6	4.61	6.20
9	-	3+	2+	-	-	-	-	2+	±	-	3+	+	4+	+	2+	-	3+	+	41.6	4.52	6.25

*N: Normal, C: Control, SI: Silicone cuffed

절편에서는 축색돌기의 주행이 봉합부위의 근·원위부에서 얼마나 잘 유지되어 있는지를 관찰하였다.

실험 결과

1. 근전도 검사 소견

본 실험에서 수술전 백서의 좌골신경의 평균 신경전도 속도는 41.6m/sec.이고 Amplitude는 평균 19mV이었다(Table 2, Fig. 3).

Amplitude는 전반적으로 실험군에서 보다 크게 나타났으며, 신경전도속도는 3주전까지는 대조군에서 평균 4.50m/sec., 실험군에서는 평균 4.83m/sec로 큰 차이가 없었으나 충분한 신경재생이 이루어졌다고 기대되는 6주후 부터는 대조군에서 평균 4.61m/sec, 실험군에서는 평균 6.20m/sec로 보다 빠르게 나타났다(Fig. 4).

2. 육안적 소견

대조군의 경우 시간경과에 따라 주위조직과의 유착이 점차 증가하였으며, 실험군에 비해 더욱 심했다. 실험군의 신경은 관절을 움직이거나, 신경을 당

겨보는 경우 cuff내에서 자유롭게 움직였으나 대조군의 경우 주위조직과의 유착때문에 관절을 움직이는 경우 신경에 traction이 가해졌다. 두꺼운 silicone cuff를 사용한 경우 발생할 수 있는 cuff근·원위부의 신경종 형성은 실험군에서 발견할 수 없었다(Fig. 5).

3. 병리 조직학적 소견

중박절편의 소견상 실험군에서는 silicone cuff가 주위조직과 신경을 효과적으로 분리시켜 주고 있었으나, 대조군에서는 신생혈관 결체조직에 의해 신경이 둘러싸여져 있었다. 3주후 부터는 대부분의 대조군의 경우 신경 fascicle사이로 상흔조직이 뚫고 들어가는 것을 관찰할 수 있었으나 실험군의 경우 pseudocapsule이 형성되어 신생혈관을 포함한 mesoneurium양 구조가 cuff의 longitudinal slit사이로 epineurium과 연결되는 것을 관찰할 수 있었다. 시간이 더욱 경과함에 따라 대조군의 경우 상당량의 축색돌기의 변성과 공급혈관의 감소를 볼수 있었으나 실험군의 경우는 축색돌기의 변성정도가 적었으며 혈관분포상태가 신경조직과 함께 잘 유지 되어

Fig. 5. Gross findings: In control site, sciatic nerve adhesion with surrounding scar tissue was more pronounced than in the silicone cuff group. In silicone cuff group, neuroma formation was only negligible.

Fig. 6-A. Cross section of sciatic nerve.(continued on next page).

Fig. 6-B. Cross section of sciatic nerve: There is noted less scar tissue formation and less degenerative changes of axon and more preserved vascularity in silicone cuff group.

Fig. 7. Longitudinal section of sciatic nerve: There is noted less axonal confusion in silicone cuff group.

있었다(Fig. 6).

횡박절편 소견상 찢주는 대조군과 실험군에 별 차이가 없었으나 3주후 부터는 대조군에서는 봉합부위 주위에서 축색돌기의 주행이 불규칙적 이었으나 실험군의 경우 비교적 주행이 잘 유지되어 있었다(Fig. 7).

고 찰

Haft⁷⁾와 Sunderland¹⁰⁾에 의하면 광범위한 연부조직 손상과 동반된 신경 손상후 9개월내에 신경기능이 회복되지 않는 경우 surgical exploration상 반흔조직내에 신경의 entrapment를 발견할 수 있었으며 인접관절의 운동으로 인한 고정된 신경의 intermittent traction injury 및 신경의 영양공급 혈관의 경련의 증가로 영구적인 손상을 입게 된다고 하였다¹¹⁾. 이런 경우 신경박리술이 시도되는데 유착된 신경에 대한 2차적인 신경박리술은 재유착 및 수술적 형행손상으로 인해 감정적인 기능회복을 볼 수 있었을 뿐이다⁶⁾.

연부조직의 손상을 동반한 신경손상의 치료후 신

경의 유착을 방지하고 신경기능의 회복을 촉진하기 위하여 신경주위를 둘러싸는 물질에 대한 연구가 수년간 지속되어 왔다. 이에 쓰이는 물질로는 Tant-alum⁴⁾, Gold, auto-and homograft blood vessel, surgical 3M tape, liquid plastic coating, Milipore⁸⁾와 Silastic sheat 및 tube^{5, 6, 12, 13, 14)} 등이 연구되었다.

Silastic제재를 제외한 물질들은 탄력성이 부족하여 섬유화를 유발시켜 봉합주위에 괴사를 일으키는 등 유용하지 못하였다. silicone rubber는 생체적으로 inert polymer로 그것의 물리적, 생물학적 장점 때문에 최근 수년간 신경조직 손상후의 유착을 방지하기 위한 cuffing물질로서 집중적으로 연구되었다¹⁵⁾.

두꺼운 silicone tube를 이용하는 경우 근위부 및 원위부에 신경종(neuroma) 형성을 유도하며, 얇은 plastic silicone tube를 쓰는 경우 주위 반흔조직에 대한 압력을 방지하지 못해 결과적으로 혈행의 차단을 초래하게 된다¹⁶⁾.

Duker⁸⁾에 의하면 이상적인 cuff는 가능한한 얇고 내경이 둘러쌀 신경의 2.5~3배 정도 되어야 하며, 길이는 문합부위에서 미끄러짐이 없을만큼 충분한

길이여야 한다고 했다.

본 실험에서는 길이 12mm, 직경 2.0mm, 두께 0.5mm의 semirigid silastic tube를 사용했으며, 이것을 좀더 쉽게 대고 종으로 절개를 넣어 신경이 비교적 자유롭게 움직이게 했으며, 이 절개선을 통해 새로운 mesoneurium의 형성으로 인한 혈행의 유지를 도모하였다.

본 실험에서 관찰한 바로는 실험군이 대조군보다 신경전도속도가 잘 유지되었고, 봉합부위의 혈관분포 및 가성막형성 등이 양호하여 신경유착 방지와 혈행의 보존에 silicone tube의 유용성을 보여주었다(Table 3).

1968년 Midgley⁹⁾는 완관절 주위의 척골신경 및 정중신경 손상환자 5명에 대해 silastic sheathing technique을 이용, 1년 이상의 추시를 거친 2명에서 보통 신경손상 환자보다 빠른 신경기능의 회복을 관찰하였다.

결 론

심한 연부조직 손상을 동반한 말초신경손상 환자에서 silicone cuffing method의 임상적 이용 가능성을 알아보기 위해 준비단계로써 동물실험을 하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 근전도 검사상, 신경전도속도 측정에 의하여 관찰한 봉합신경의 생리회복속도는 약 6주후 부터 실험군에서 보다 빠르게 관찰되었다.

2. 육안적 소견상, 실험군에서 대조군보다 주위 조직과 신경과의 유착이 적었다.

3. 상흔조직이 안정되는 3주 이후 봉합부위의 신경조직에서 관찰되는 상흔조직의 양 및 신경축색 변성정도는 대조군보다 실험군에서 현저히 감소되어 있었다.

4. 봉합부위의 신경내 혈관분포는 대조군에서 감소되어 있는데 비하여, 실험군에서는 대체로 유지되어 있는 것으로 관찰되었다.

5. 이상의 관찰 결과는 심한 연부조직 손상을 동반한 말초신경 손상환자에서 silicone tube를 사용한 cuffing method의 임상적 이용 가능성을 긍정적으로 암시하는 것이라 하겠다.

REFERENCES

- 1) 유명철 · 안진환 · 강신혁 · 이용걸 : 신경박리술 후 신경의 조직학적 변화. 대한정형외과학회지. 17:1, 1982.
- 2) Adams, D.: *The blood supply of the enamel*

- organ of the rodent incisor. Arch. Oral. 7: 279, 1962.*
- 3) Campbell, J.B. and Basse, H.A.L.: *The surgical application of monomolecular filters(Milipore)to bridge gaps in peripheral nerve and to prevent neuromas formations. Surg. Forum 7:570, 1976.*
- 4) Clifton, E.E.: *Tantalum foil cuffs in peripheral nerve surgery. Surgery, 1948. 23:507-514.*
- 5) Ducker, T.B. and Hayes, G.T.: *Experimental improvements in the use of silastic cuffs for peripheral nerve repair. J. Neurosurg. 28:582, 1968.*
- 6) Finsterbush, A. Porat, S. and Russo, M.: *Prevention of Peripheral nerve Entrapment Following Extensive soft tissue Injury, using silicone cuffing: An Experimental study CORR 162:276, 1982.*
- 7) Hafteck, J.: *Stretch injury of peripheral nerve. J. Bone Joint Surg. 52B:354, 1970.*
- 8) Kline, D.C. and Hayes, G.J.: *The use of a resorbable wrapper for peripheral-nerve repair. Experimental studies in chimpanzees. J. Neurosurg., 1964, 21:737-750.*
- 9) Lane J.M. and Bora F.W.: *Neuroma formation in Rats following peripheral nerve Transsection. JBJS 60-A:197, 1978.*
- 10) Lehman, R.A.W. and Hayes, G.J.: *Degeneration in peripheral nerve. Brain, 1967, 90:285-296.*
- 11) Lundborg, G. and Rydevik, B.: *Effects of stretching the tibial nerve of the rabbit A preliminary study of the Intraneural circulation and the Barrier function of the perineurium. JBJS. 55-B:354, 1973. 390,*
- 12) Lundborg, G.: *Structure and Function of the Intraneural Microvessels as Related to Trauma, Edema Formation, and Nerve Function JBJS. 57-A:938, 1975.*
- 13) Midgley, R.D. and Woolhouse, F.M.: *Silicone rubber sheathing as an adjunct to neural anastomosis. Surg. Clin. North Am. 48:1149, 1968.*
- 14) Midgley, R.D. and Woolhouse, F.M.: *Silastic sheathing technique for the anastomoses of nerves and tendons. Canad. Med. Ass. J., 98: 550, 1968.*

- 15) Morotomi, T., Okazake, S. and Mizuta, S.: *The new method of suturing traumatic peripheral nerve paralysis. Int. Sugr. 48:164, 1967.*
- 16) Rhoades, C.E. and Mowary, C.A.: *Results of Internal Neurolysis of the Median Nerve for severe Carpal-Tunnel syndrome, JBJS 67-A: 253, 1985.*
- 17) Nicolas, P.J. and Dichson, R.A.: *Experimental nerve grafting:vascularization and Regeneration. JBJS 67-B:319, 1985.*
- 18) Sunderland, S. and Bradley, K.C.: *Stress strain phenomena in human peripheral nerve trunks. Brain 84:102, 1961.*